بول كوديرك

عـالم فلكي أصيل في مرصد باريس

النسبية

ترجمة

مصطفى الرقي

منشورات عويدات

بيروت ـ باريس

الطبعة الثالثة ١٩٨٢

مقـــدّمــة

إن عرضاً للنسبية يصبح بالضرورة نزهة حولها ، إذا ما تفادينا كل جولة أو رحلة في ميدان الحساب . ولكن هذه النظرية تلعب دوراً أساسياً كبيراً في الفيزياء والفلسفة الحديثة ، بحيث أن كل إنسان مثقف يجب عليه أن يقوم بهذه الرحلة. لقد جهدت في تبسيطها، ولا أدّعي بأني استطعت أن أزيح عنها كل غموض . فالنسبية ليست رواية مسلية يمكن قراءتها في حالة نصف نعاس؛ وإنما تتطلب ممن يريد الفهم انتباهاً متواصلاً وتركيزاً ذهنياً لا يمكن أن يحصلا بدون جهد. وهي تستحق هذا الجهد بما تجلبه للجميع من غنىً فكري وسعة اكتشاف . إن نظريتي النسبية والكموم تشغلان القرن العشرين كما تشكلان خطوات حاسمة في مفاهيمنا الكونية .

ولتسهيل القراءة حاولت أن أجعل الفصول الستة لهذا الكتاب مستقلة شريطة إعادة قراءتها عدة مرات . ويبدو لي أن كل قارىء يبغي الفهم ، إذا ما خصص لكل فصل ساعة من القراءة المركّزة ، يستطيع أن يكون فكرة عامة وافية عن أصول وقيم هذه النظرية الواسعة .

وقد جاء الفصلان الأولان يمهدان لهذه الدراسة : فالأول يؤكد ويدافع عن حقوق النسبية ، والثاني يعرفنا على الزمن العلمي ، أما الفصل الثالث فإنه يتناول النسبية المحدودة ، والرابع مخصص لاكتشافاتها . وأنصح المتشككين بقراءة هذا الفصل أولاً ، والفصل الخامس يلخّص النسبية العامة ونتائجها .

ونزولاً عند رغبة طلبات عديدة أضفت الفصل السادس الذي يرسم بدقة مظاهر الزمن النسبي ، في منهجين للنسبية ، أثناء « رحلة لانجفان » الشهيرة .

هنـاك ثلاث ملحوظات على شكل ملحق مخصصة لهؤلاء الذين لا يخشون قليلاً من الرياضيات .

وفي النصوص تدل الأقواس [ ] على المراجع التي أدرجتهـا في آخر الكتاب .

أود أن أشير هنا الى فضل الأساتذة الذين لولاهم لما فكرت بكتابة هذا الكتاب. فاسم بول لانجفان مقرون بالنسبية في فرنسا : فهي ليست مدينة له بشروح نظرية جوهرية وحسب بـل لقد ساهم بشكل فعّال على نشرها لدى جمهور كبير بواسطة مقالاتـه ومحاضراته القيمة . عديدون هم المستمعون لمحاضرتيه الأخيرتين (لسوء الحظ لم تنشرا بعد) ، والذين سيدركون ما لهذا المؤلّف من أثر على فكرهم. وقد أخذت أفكاراً عديـدة من المؤلف الرئيسي لإميل بوريل « الفضاء والزمان » ، حيث تعتبر قراءتـه ضرورية كمقدمة لدراسة النسبية .

وأذكر أخيراً ، بتأثر بالـغ ، عند نشري لهذه الصفحات ، صديقي جاك روسينيول ، الأستاذ في معهد سان لويس ، الذي قتل في معركة أيلول ١٩٣٩ ؛ حيث كانت ترجماتـه الرائعة هي الأولى التي دخلت فرنسا وعرّفت الفرنسيين على النسبية . وإني لا أزال أذكر بأسف شديد تلـك الأيام حيث كان يقودنا في صفوف الطلبة ويقود معنا حملة شعواء بكلامه ومقالاته وكتبه لصالح النسبية في تلك الفترة (١٩٢٠) التي بلغت فيهـا مناقشات النسبية ذروتها .

١ النسبية في العلم

النسبية هي إحدى نظريات الفيزياء ، وهي ترتكز على نقد منطقي لطرق قياس الانسان للزمان والمكان. وقد بلغت ما لم يسبق لنظرية أخرى أن بلغته من اتساع وشمول ، فظهرت خصوبتها الفائقة في سنوات قليلة . وهي ليست فصلاً من فصول الفيزياء ، لأن قوانينها تفرض نفسها على الفيزياء كلها وتحقق فيها تركيباً رائعاً .

وقد ولدت النسبية من الصعوبات التي كانت تتخبط فيها فيزياء القرن التاسع عشر ، ومن التناقضات التجريبية التي كانت تتضارب بها النظريات القديمة . وهي لم تحل الخلاف الدقيق الذي وضعت لأجله فحسب بل ربطت دفعة واحدة ، وشرحت في جميع نواحي الفيزياء عدداً كبيراً من الظواهر لم تكن مخصصة لأجلها . ثم إنها تنبأت من جهة أخرى بظواهر جديدة كثيرة لم تكن لتخطر على بال ، حتى ان هذه الظواهر باتت عند الاعلان عنها غير معقولة مع ميزتها الأساسية التي غيرت مظهر فيزياء القرن العشرين .

وقد تمّ التحقق من صحة أكثر تنبؤاتها . أما الأخرى فتقع عند حدود إمكانيات المختبرات الحالية ولذلك يصعب التحقق منها . والبعض الآخر من هذه التنبؤات يتعدى امكانية المراقبة إما لدقته البالغة وإما لشموله الكبير . ولكن في جميع المناسبات التي أجابت فيها الطبيعة عن تساؤلات الانسان بشكل واضح فإن هذا الجواب كان في جانب النسبية. وبالرغم من التأكيدات المعاكسة ، التي مبعثها الحسد وعدم النضج فإنه لا توجد الى الآن تجربة واحدة تناقضها .

لقد صيغت النسبية لتفسر نتائج تجارب معينة تقع تحت تأثير حواسنا، أي في مجال حسّ الانسان، ولم تتعلق في البداية إلا بظواهر من هذا النوع . ومع ذلك فقد شملت ظواهر اللامتناهي في الصغر واللامتناهي في الكبر . وهذه الميزة تدعو للدهشة إذ أن المبادىء الحسية، على العموم، تصلح في المجال الحسي الذي وُضعت له ويبطل معناها في مجال مختلف ، فمبدأ « شجرة » مثلاً تبطل فائدته لأناس عيونهم مجاهر مكبّرة ، وكذلك لوحة كالجوكونده لا يبقى لها بدون شك أية قيمة فنية .

وتمكننا النسبية من فهم عدد كبير من ظواهر فيزياء الفلك وخاصة مسألة معدل الطاقة التي تشعّها النجوم وهي إحدى الأسس الهامة في الفيزياء . ثم انها تفسر التجاذب الكوني الذي ذكر قوته نيوتن والذي بقي في ماهيته غريباً غامضاً. بل وتزعم انها تكشف السر عن أكبر ظاهرة شعر بها الانسان وهي انفلات السُدم الحلزونية .

وأما في الجهة الأخرى لسلم الكبر فقد كان لها الامتياز في تمكيننا من توسيع معلوماتنا عن عالم الذرة . فبدونها يرفض الكيميائي وحدة المادة بعد أن زعزعته الأوزان الذرية .

وقد ذهبت النسبية الى أبعد من هذا ، فقد أبرزت قوانينها الوصف الدقيق للأشعة الطيفية داخل دوامة الذرة . فكانت بذلك المساعد الضروري

لنظرية الكموم وكان يستحيل بدونها فهم ارتباط الموجات الشريكة بالمادة ، ويكفي كشف هذا الارتباط للتدليل على قيمتها .

وفي الواقع، قلبت النسبية مفاهيمنا للعالم الى لا رجعة ، مفاهيم الفيلسوف ورجل العلم على حد سواء . وليس المراد هنا تعداد انتصاراتها، فسوف نرجع الى ذلك فيما بعد (الفصل الرابع) ، ولكني أردت أن أظهر الأصل التجريبي للنسبية ، والطبيعة الحسية للمسائل التي تتناولها ، وتنوع النتائج الصادرة عنها ، وأخيراً الصبغة العملية لتنبؤاتها .

وذلك لأن عدداً كبيراً من الناس ، ما زال يعتقد انها من التخيلات الرياضية البحتة، وأنها لعبة يقصد فيها التعقيد، وان الاعجاب بها يكون أكبر عند من لا يفهم منها حرفاً ، وأنها ثرثرة بدون ركيزة في عالم الواقع وبدون تأثير عليه .

والبعض يعتبرها فلسفة طلائعية جديدة تتطلب من عقولنا ، بدون ضرورة ، أعمالاً بهلوانية بحيث ان اختفاءها المفاجىء لن يسبب أي أسف . ويعتقد الجميع ، على ذمة المقالات الصحفية التي أعلنت عدة مرات ان النسبية في نزاعها الأخير ، بأنها قد دُفنت منذ أمد بعيد .

ولهذا أريد أن أطمئن أصدقاءها الذين فقدوا رؤيتها في الصحف، وأن أثير حنق أعدائها الذين فرحوا قبل الأوان : ان النسبية بصحة جيدة ، وان الصمت الذي أطبق عليها ، بعد السنوات الصاخبة من الشهرة العالمية والصراع المرير ، ليس صمت القبور بل صمت المختبرات . فهي أداة العمل اليومي الضرورية، التي لا منازع لها الى الآن، بيد الفيزيائي، يشرّح بواسطتها الذرة ويدرس الأطياف ويحسب الطاقة وذلك في جميع أنحاء الكرة الأرضية.

وقد حان الوقت ليُحدَّد موضع النسبية في إطار تطور العلوم ، وسوف تتبوأ المكان اللائق .

فيزياء الأقدمين . — ان ضرورة تأمين قوت الانسان وتحسين شروط

حياته المادية قادته الى دراسة الطبيعة ، ولكن فيما بعد ، وقـــد تذوق لذة تدريب العقل ، أخذته نشوة مجردة في حـــلّ طلاسم الكون مدفوعاً بفضول شديد وبإيمان بقدرته على تفسير الظواهر .

وكانت الهندسة Géométrie أصلاً نجارة ، أي علم فيزيائي، وكان فلاحو وادي النيل مجبرين بعـــد كل فيضان على تأليف سجلاتهم. ثم جردت عبقرية اليونان، وذلك فيما يلي القرن السادس قبل الميلاد، الهندسة وفصلتها عن أصلها المادي وعن الفيزياء ، على الأقل ، ظاهرياً ، لتجعل منها رياضة روحية أنيقة عجيبة؛ وكذلك اختلط علم الحيل مدة طويلة من الزمن مع صناعة الآلات وفنّ العمارة . واذا ذكرنا أن للأهرامات (٥٠٠٠) سنة من العمر وجب علينـا الإقرار بكون هذه الصناعة قد بالغت في امتدادها منذ ذلك العهد المتقدم من تاريخنا .

وبجانب الهندسة وعلم الحيل نجد في الفيزياء القديمة فصولاً تتناسب مـــع مجالات الحواس الانسانية الأساسية : علم البصر لحاسة البصر ، علم الأصوات لحاسة السمع ، والحرارة لحاسة اللمس .

أضف الى ذلك الكهرباء والمغناطيس اللتين ضمتهما الفيزياء في نفس الوقت الذي بدأت فيه الهندسة بالإنسلاخ عنها . وكان طاليس على ما يقال هو الذي اكتشف ميزة العنبر الأصفر في جذب الأجسام الدقيقة الخفيفة عند دلكه (القرن السادس قبل الميلاد) . أما فيما يخص المغناطيس فقد كانت ميزة بعض المعادن (المغناطيس الطبيعي) المستخرجة من قرب مدينة مانيازيا هي التي تجـــذب الحديد . ولكن هذه الفصول ، التي اندمجت والتي أصبح توسيعها يشغل فيزياء اليوم ويتحكم في حضارتنا المادية ، لم تعرف التقدم خلال ٢٠٠٠ سنة .

التطور : نحو التجريد والتوحيد . — هـــذا الترتيب الأولي للظواهر الفيزيائية له طابع بشري واضح، وهو طبيعي ومحتوم. وقد جرى تقدم الفيزياء بالتقليل من أثر هذا الطابع الانساني وبتبديل المبـادىء المأخوذة مباشرة من

إحساساتنا وطريقة شعورنا مع الانسياق شيئاً فشيئاً مع تيار التجريد . وقد نمت فعالية العلم بقدر ما تخلص من انطباعاتنا البدائية ومن عاداتنا الذهنية وحتى من إمكانيات تمثلات أدمغتنا ، وهذا الكتاب سيكون خير شاهد على ذلك . ولنشر منذ الآن الى القوة التي تضيفها هذه الملاحظة الى حقيقة العالم الخارجي .

بهذا التخليص للمبادىء الانسانية ، خسر العلم من حيث التكوين، ولكنه ربح من حيث الوحدة . فإن صورة الفيزياء في بداية القرن العشرين هي غيرها في الزمن القديم . فقد امتصّت بعض الفروع البعض الآخر ولم يتبق سوى فرعين : الحيل والاليكترودیناميك .

وقد حقق علم الحيل la Mécanique وحدته بفضل « نيوتن » فارتبط علم الحيل الأرضي بعلم الحيل الفلكي ثم امتص هذا الفرع علم الأصوات ثم نصف علم الحرارة (النصف الذي يُرجع حرارة الأجسام الى حركة الجواهر) ثم بسط نفوذه أخيراً على التفاعلات الكيميائية .

أما الاليكترودیناميك الذي أسسه « أمبير » وأنماه « فاراداي » و «ماكسويل» فقد ابتلع الباقي مبتدئاً بالمغناطيس ، وجزء من الحرارة المتبقي (الذي يفسر الحرارة الإشعاعية) ، وأخيراً علم البصر .

وقد شاهد القرن التاسع عشر فصول الصراع الهائل بين هاتين المدرستين اللتين تنازعتا السيادة في الفيزياء .

ومن الانصاف الاعتراف بأن علم الحيل الذي تأسس منذ القديم، والحامل في تاريخه تتابع الإنتصارات المتوالية ، هو الذي بدأ بالإعتداء ، فقد نجح أولاً بفرض أشكال قوانينه على الاليكترودیناميك وعلى علم المغناطيس الناشىء ؛ ثم بعد ذلك ، وفي الوقت الذي كان فيه الاليكترودیناميك يحقق بطرق جديدة أخاذة معاكسة لعلم الحيل ، انتصارات متوالية وامبراطورية منافسة ، لم يترك علم الحيل محاولاته في الضمّ ولا لحظة واحدة .

وفي الأخير انقلبت الآية وانتصر المنافس الجديد . واستطاع الاليكترودیناميك بعد نزاع شديد وعناد أشد من قبل الفيزيائيين ، أن يسيطر على علم الحيل وأن يتم وحدة الفيزياء تحت رايته .

ولكن هذا الإلحاق وهذه الوحدة لم يتما إلا بدخول النسبية في المعركة . فانها نزلت بجانب الاليكترودیناميك وحققت له النصر وللحيل الخذلان النهائي .

ثم إن النسبية عملت أفضل من هذا فيما بعد، ذلك أنها أعادت الهندسة إلى الحظيرة التي كانت قد اعتقدت بأنها تخلصت وتجردت نهائياً . وعاد « المكان » الذي تتحرك فيه الأجسام المادية والاشعاعات ليصبح فيزيائياً على هيئة مجال خاضع للتجارب . ونجحت هندسة المحسوس هذه من أول مرة في تفسير التجاذب ، الذي بقيت طبيعته مجهولة منذ بدايته . هذه الهندسة هي علم « المكان الزماني » [1]. واستُبدل مبدأ القوة الذي استعمله نيوتن ، المطبوع بالطابع البشري والذي يصور شعور عضلاتنا ، بمبدأ «المجال» الذي يفوقه من حيث التفسير والخصوبة . فان وصف «المكان الزماني» وطبيعة المجال بقرب النجوم الضخمة يفرض على الأقمار مسيرها أفضل مما تفرضه قوى نيوتن القديمة.

وهكذا اختتم التركيب البديع المدهش بخصوبته ، بفضل النسبية ، هذا التركيب الذي كان الأمل بتحقيقه مسطوراً في تطور الفيزياء منذ بدايتها . وانتصرت النسبية بنفس الطرق التي قادت التقدم في جميع مراحل التاريخ ، اي مراجعة المفاهيم السابقة وتلخيصها والسير نحو تجريد أبعد .

وكان من الممكن أن نتفهم وضع اعدائها في الأيام الأولى حيث ظهرت العدوّة الأولى للفيزياء القديمة . أما اليوم ومع بعض التراجع الى الوراء ، فمن

---

١ – في الفيزياء القديمة كانت تعين الأجسام ، والحوادث في مجريين : الفضاء والزمان ، ولكل منهما طبيعته الخاصة ، التي تجعله يختلف عن الآخر ؛ أما في النسبية فالأجسام والحوادث ، تعين في مجرى واحد مؤلف من فضاء غير منفصل عن الزمان يدعى «المكان الزماني» = فضاء + زمان.
(المترجم)

الممكن رؤيتها على استقامة واحدة مع محور الفيزياء القديمة فهي الطابق الأسمى في هذا البناء وهي تتوج هذه الفيزياء القديمة التي حملت اليها الوحدة والعظمة والنجاح بنقاء أسلوبها .

ولادة النسبية وانطلاقها . — تكاملت النسبية على مرحلتين : الأولى ترجع الى سنة (١٩٠٥) حيث ولدت النسبية المحدودة ، والثانية تمتد من (١٩١٢) الى (١٩١٥) حيث وسّع مجال النقد والتطبيق ، وهي التي دعيت النسبية العامة .

وكان للنسبية محبذوها ككل النظريات كما كن منهم الأكفاء من الدرجة الأولى في كل بلدان العالم . وفي الوقت الحاضر يحاول آلاف الصناع توسيع مجال تطبيقها كل في اختصاصه. ولكنها في مرحلتيها على الأقل من صنع رجل واحد : أينشتاين .

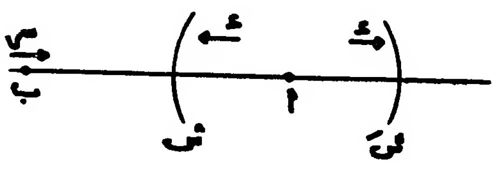
وكما كان نيوتن نقطة انطلاق العلم الحديث ، فقد كان أينشتاين بلا شك نقطة تفجير فيزياء القرن العشرين ، وليست الصدفة هي التي ربطت هذين الاسمين ، وسيعطي المستقبل تكافؤهما في ميزانه العادل .

في بضعة سطور . — كل طالب يعلم ان الضوء ينتشر في الفراغ بسرعة (٣٠٠ ٠٠٠) كلم في الثانية !! وهذه هي سرعة الموجات الهرتزية وجميع الموجات الكهرطيسية. وهذه السرعة ثابتة مهما كان الاتجاه ، وسوف نرمز لهذه السرعة بالحرف (ع) في الفراغ. ان حركة المصدر الضوئي ليس لها أي تأثير على سرعة الأشعة المنبعثة منه ! وسوف نرى البرهان على ذلك في الفصل الثاني . ثم ان جميع الذين قاموا بحساب سرعة الضوء لم يجدوا عدداً مخالفاً لـ (ع) مهما كانت ظروف التجربة. وإن ثبات العدد (ع) يعد من أفضل المثبتات في الفيزياء . فالتجارب العديدة ، التي ما زالت تتكرر منذ ستين سنة ، تؤكد ذلك ، الأولى ، حسب التاريخ ، كانت تجربة ميكلسون (١٨٨١) وسوف أذكر غيرها .

قد يعتقد القارىء بأنني ألحّ بدون مبرر ، لأنه قد يكون قبل بسهولة ان سرعة انتشار الضوء ثابتة في جميع الاتجاهات برغم حركة المصدر ، مع ان هذا يتناقض كلياً مع علم الحيل، فمن المستحيل إذن قبول الفكرتين معاً.

لنأخذ شعاعين ضوئيين ش ، شَ مبتعدين عن المُشاهد م في اتجاهين متعاكسين (كما في الشكل ١) وهذا الابتعاد يتم بالطبع بالسرعة الثابتة ع.

ولنفرض (ب) مشاهداً آخراً يتحرك نحو (م) بسرعة معينة نرمز لها بـ (س). حسب علم الحيل القديم تكون سرعة شَ بالنسبة الى ب تساوي مجموع السرعتين لأنهما يتجهان نحو بعضهما أي : (شَ + س) وبالعكس تكون سرعة ش بالنسبة الى (ب) تساوي فرق السرعتين لأن أحدهما يحاول اللحاق بالآخر . إذن (ش – س) . فلو جعلنا المشاهد (ب) يحمل أجهزة ويقيس سرعة الضوء فسوف يجد للشعاعين (ش، شَ) قيمتين مختلفتين وعلى هذا تكون سرعة الضوء متجانسة وثابتة بالنسبة الى (م) الذي لا يتحرك وتكون غير متجانسة وثابتة بالنسبة الى (ب) المتحرك .



شكل (١)

ولكن التجربة هي الحكم النهائي بين الرأيين فماذا تقول ؟ المشاهد (ب) يقوم بالقياس الدقيق فيجد نفس القيمة الثابتة لسرعة الشعاع (ش) والشعاع (شَ)

وذلك في جميع الظروف وفي جميـع الأمكنة وفي جميـع الأزمنة وهذه القيمة الثابتة التي يلقاها (ب) كما يلقاها (م) هي (ع) . فسرعة الضوء (ع) ثابتة في جميع الاتجاهات أكان المنبـع متحركاً أم هادئاً .

النتيجة الحتمية : لقد ضبط قانون جمـع السرعات متلبساً بالخطأ فيكون علم الحيل يخادعنا .

واستطاع أينشتاين ، بتحليل نفـّاذ للوسائـل التي يستخدمها الانسان عند قيـاس الزمن وقياس الأطوال ، الوصول الى أن كل مشاهد يقطع بشكل ما الكون الى زمان وفضاء ، ويقيس زمنه هو وفضاءه هو. والمقطع هذا يختلف إذا كان الشخصان متحرك أحدهما بالنسبة للآخر. ولأجل الانتقال منقياسات الأول الى قياسات الثـــاني يلزم استخدام الدساتير المعروفة باسم « تحويلات لورنتز » التي تناقض علم الحيل القديم .

لم يشك أحد، قبل ظهور النسبية، في الاستقلال التام بين الزمان والمكان، بل إن هذه المسألة لم تكن لتخطر على بال. فوقوع حادثتين في مكانين مختلفين يتمتع بمعنى فيزيائي محدد دون أن يكون ضرورياً تحديد المُشاهد للحادثتين. ولقد تبين الآن أن ذلك لم يكن إلا حكماً من هـــذه الأحكام المسؤولة عن التناقضات والصعوبات التيتخبطت فيها الفيزياء منذ بدأ الانسان يقوم بتجارب بالغة الدقة .

وقد ألقت النسبية ، كما يدل اسمهـا ، النسبة في مسائل لم يكن الإنسان يرى فيها سوى المطلق . لنوضح ذلك : فهي قـــد قلبت كثيراً من المفاهيم المطلقة التي كانت تتحكم فيما سبق بتصوراتنا للعـــالم وجعلتها نسبية . وبهذا أخرجت العلم من الممر الضيق الذي انحصر فيه ودلته على طرق التقدم الواسعة والآفاق الرحبة .

وغالباً ما نسمع أن النسبية قد طردت المطلق جذريـاً من العلم . وهذا التأكيد لمضحك . فهي لم تطرد إلا ما كان مزيفـاً ، وما كان يلحق الضرر

بالفيزياء . وقد اكتشفت بدورها مطلقات أخرى أعمق منها وأثبت بحيث يمكن أن نأمن اليها ونركز معرفتنا للكون عليها . هل يعني ذلك أننا متأكدون هذه المرة من كون هذه المطلقات صحيحة لا يتطرق اليها الشك ؟ لا يملك الإنسان دليلاً من هذا النوع ، فلا شيء يمنع من سقوط هذه المطلقات بدورها بفضل اكتشافات في المستقبل. ومن قيام مطلقات أفضل وأسمى .

لننظر من قرب الى الأصنام التي قلبت والى أهمية هذا الانقلاب . فأولاً قد خلع سلطان الزمان عن عرشه ، ذلك المستبد القاهر الذي يسلط الموت على عنق الانسان بمنجله وساعته الرملية وذهبت خادمتاه الملازمتان له : السرعة اللانهائية ، وأختها التوأم ، البث الفوري للطاقة ، الى مكان بعيد . ولكن هاتين الأداتين الضروريتين لطغيان الزمان ، لم يكن لهما التقدير الذي كان لسيدهما فذهبتا غير مأسوف عليهما . فقد طال انصياع الانسان لطاغيته حتى نسي طعم الحرية ولم يعد يسأل عن وسائله التحكمية . وزال في نفس الوقت المكان المطلق ، ذلك الإطار المجرد الخالص من كل مادية الذي كنا نحاول إسكان الفيزياء فيه .

وقد برهنت النسبية أن عمليات قياس الزمان والمكان لم تكن مستقلة في الحقيقة عن بعضها . فالزمن ليس مطلقاً لأن قياسه يتأثر بالحركة النسبية في المكان ، كما أن قياس المسافات يتأثر بالزمن الخاص لكل مشاهد . وتتوصل النسبية الى انصهار تام بين الزمان والمكان نسميه « المكان الزماني » (مكان + زمان) يتألف من زمان نسبي ومكان نسبي . يطفو ، فوق كل هذا النسبي ، مطلقٌ جديد : « الفاصلة » بين حادثتين التي تمثل حقيقة أعمق .

وتلعب في هذا « المكان الزماني » سرعة النور دوراً أساسياً فريداً من نوعه وتؤلف مطلقاً جديداً . هذه الحقيقة لاقت معارضات شديدة ولكننا لا نستطيع شيئاً أمامها فهي مفروضة علينا من قبل التجربة .

ولكن هل يدعو ذلك فعلاً الى الدهشة في كون يظهر لنا بجميع مظاهره كتركيب كهرطيسي ؟ فهذا الكون هو الذي يدفعنا الى الاعتقاد بأن ميزاته العميقة كلها هي ميزات النور . فهل توجد مغامرة أعجب من هذه ؟ فلم يبق للشعراء وحدهم الحق بأولوية التغني بالنور ، فالعلم بأكمله قد أصبح نشيداً له .

ثم خُلعت الكتلة المطلقة عن عرشها كما خُلِعت المادة بما هي مفاهيم نوعية . وأصبحت الكتلة تتغير مع السرعة ، والمادة قابلة للافناء وللخلق ، وتبوأت الطاقة محلها الرفيع وأصبحت هي الخالدة المحفوظة والوازنة . فأصبح ممكناً وزن الضوء !

الاتهامات الكاذبة . — وهنا يجب أن أحذركم من التحوير الذي أصاب النسبية من أقلام المبسطين غير الأكفاء . فهذه النظرية تُظهر الكون بمظهر جديد حتى أن الذي يتفهمها يستحيل عليه التفكير كما كان يفعل قبل فهمها ، ولكنها مع ذلك غير مسؤولة عما ألصق بها من أشياء غير مقبولة . وها هو أهم ما ألصق بها .

كُتب بجرأة أن النسبية تمحي كل تمييز بين المكان والزمان ، وبأنها بذلك تعتبر الوقت بعداً رابعاً للمكان . ولا شي أبلغ خطأ من هذا ، فالزمن يلعب دوراً متميزاً تماماً عن دور المكان ، وتدخل قياساته في المعادلات بشكل مختلف وبصورة رمزية ، وليس للمكان في النسبية أكثر من ثلاثة أبعاد ولا يتطلب أية عقلية بهلوانية لمحاولة إضافة بُعد رابع له .

يتأثر « المكان الزماني » بأربعة « معاملات متبدلة » وتتشابك مع بعضها عند دراسة الحوادث الواقعة فيه . ومع ذلك فان المعامل المتبدل الذي يختص بقياسنا للزمن يتدخل بطريقة نوعية خاصة في الدساتير بحيث لا يغرب أبداً عن البال .

يجد الرياضيون سهولة في دراسة « المكان الزماني » عند استخدام أربعة متغيرات، لأنهم يستطيعون أن يكملوا ما كانوا يفعلون سابقاً بمتغيرات ثلاث،

ويحتفظون بنفس الاصلاحات المألوفة في الهندسة مع تعميمها: أبعاد، ومسافات، وانحناء ، وخطوط سطح أرضية . وعلى هـذا يقولون ان « للمكان الزماني » أربعة أبعـاد . ولكن هذه الطريقة البسيطة في التعبير سببت كوارث في الأدمغة غير الرياضية ، وخلقت صدوداً لا مبرر له . فكل عالم يعرف أن للمكان ثلاثة متغيرات متجانسة (الطول والعرض والإرتفاع) أمـا المتغير الرابع فإنه يمثل « بعداً » تخيلياً ، وهو يتشابك مع الثلاثـة الأخرى على الشكل : تـ ع ز حيث (تـ) هي رمز الأعداد التخيلية [1] البحتة من جملة الأعداد المركبة التي يستخدمها الرياضيون .

ويتكرر نفس الشيء في النسبية العامة عند مسألة انحنـاء المحتوى « المكان الزماني » فتحصل بلبلة لا أساس لها . فالصعوبة موجودة ولكنها ليست في جعل فضاء عادي تحت رحمة الطرق والإحنـاء . وتطلق النسبية كلمة « انحناء المكان الزماني » على « كمية » يعبر عنها (بواسطـة المتغيرات الأربعة التي تكلمت عنها مستخدمة بطريقة تجريدية) بدستور يشبه انحنـاء سطح في الهندسة الفراغية ذات الأبعاد الثلاثة. فكلمة انحناء المألوفة التي تدل على شيء ملموس معروف ، أطلقت هنا بمعنى خاص فريد بحيث ان الإصرار على تصور الأطوال فقط يقود الى التيه والضياع .

فالنظرية التي تتجاهل إحدى مميزات الزمن الخاصة لا يمكن أن تقوم لهـا قائمة ثم انه لا توجـد نظرية تقول بذلك . وعلى الخصوص نجـد أن متغيرات المكان تتغير في أيّ اتجـاه وعكسه ، بلا فرق ، بينما يتغير الزمن في

١ـ العدد المركب يتألف من جزأين جزء واقعي وآخر تخيلي ويمثل على مستوى بنقطة لهـا احداثين أحدهما واقعيّ (محور السينات) والآخر تخيلي (محور الصادات) . والعـدد تـ المعرف كما يلي : تـ = $\sqrt{-1}$ او تـ ٢ = ـ ١ ، هو عدد تخيلي بحت، يرمز بنقطة على محور الصادات تبعد عن المركز بمقدار الوحـدة . وكل عدد مركب يكتب على الشكل : ا + تـ ب حيث ا ، ب عددان واقعيان . (المترجم)

اتجاه وحيد . وتجد عدم قابلية الانعكاس هذه للزمن ، والميزة الحتمية لتطور الأنظمة الفيزيائية ، ما يُعبر عنها في المبدأ الثاني للترموديناميك . هذا المبدأ الأساسي اذا اعتبرنا سلم الكبر الذي يقع في مجال حواسنا ، الذي تكوّن تدريجياً ، يُرجع التطور الى مبدأ الاحتمال : فالحالة المحتملة أكثر تلي الحالة المحتملة أقل . وهذا هو السبب الأساسي الذي يمنع الأنظمة المعقدة (وخاصة نحن) من تسلق مجرى الزمن والرجوع فيه الى الوراء .

ومن جهة أخرى يُدخل خلود الكهارب والذرات وبقاء الحوائج والأشياء، في « المكان الزماني » للنسبية ، عدم تماثل أخاذ لواحد من الاحداثيات : فمحور الزمن مفضل على المحاور الأخرى (كالخط الشاقولي في تفضيله في مسير الأجسام الواقعة على سطح الأرض) . وللحوادث آثار وراءها تتجه بالضرورة بمعظمها نحو منحدر الزمن ، ويعرف هذا الاتجاه بسهولة فائقة كما تعرف في لوح خشبي اتجاهات الألياف الخشبية ، ويسمح لنا هذا التشبيه بالقول ان للمكان الزماني وصف ليفي في اتجاه الزمن .

وأعتقد أن هذه الملاحظات كافية للتدليل على أن النسبية لم تغتال الزمن ولم تحذفه ولم تقترح أن يكون الزمان بُعداً رابعاً للمكان ولا أي من الأكاذيب التي ألصقت بها .

لها او عليها . — لم يسبق لأي نظرية حديثة أن أثارت مثل هذا الغليان من الحماس او الاستنكار، وقد كان على الغالب حماس البعض كاستنكار البعض الآخر بدون أساس ، فقد كانت النسبية حوالي سنة ١٩٢٠ مثيلة التظاهر الكاذب بالمعرفة ومصدر ذلك بالطبع هو الجهل بالموضوع .

وتتعلق المشكلة بالزمان والمكان بالدرجة الأولى : وبما أن كل فرد يعتقد بمعرفته لهذين المبدأين كان يظن ان من اجبه إبداء رأيه والدخول في العراك ، وأصبح لتعبير « كل شيء نسبي » معانٍ وصلت الى حد السخف وقنع بها كثيرون بل ولم يروا فيها أي جديد . أما الذين لم يكونوا

راضين ، فقد ابتهجوا لسماعهم بنسف الزمان والمكان دون أن يعرفوا بهـا . أما المعادون ، فإنهم كانوا أصحاب «الحس السليم» [1] الذين كانوا يعتقدون ان أي تغيير أو مسّ لمبدأي الزمان والمكان الواضحين مـا هو إلا جريمـة أو جنون . كان على الفيزياء أن تنزل الى استفتاء الشارع .

باسم الحس المشترك . — بعـد تخليص النسبية من النقـائض التي نسبت اليها والتي هي منها بريئة فإنها تبقى رغم ذلك ذات طابـع جديـد وعميق . فإنها تخلق تغيراً جذرياً في مبادىء يعتبرها الانسان في حياته اليومية واضحة وبديهية ، ولهذا فهي تتطلب لفهمها مجهوداً جدياً فكرياً وتجديدياً .

ولكن باستثناء النخبة الواعية من بني البشر ، نجد ان النفس الانسانية تنفر من بذل الجهد وتعشق الرتابة وتتعلق بعاداتها وتعاند كل ما يمس تقاليدها القديمة . ويرينا التاريخ اضطهاد الرائدين والمخترعين قبل أن ترضى البشرية بالانتفاع من أعمالهم .

ولـكي نستطيـع تفحّص الأفـكار الجديدة بالمرونة اللازمـة ، ولـكي تكون لنا الوداعة المطلوبة أمام حكم التجربة ، سوف نعرض لأهم انهزامـات الحسّ المشترك . ولنر إذا كان هذا الحس كما لخصه ديكارت : « القـدرة على الحكم والتمييز بين الخطأ والصواب » يستطيـع أن يكون دليلاً كافياً نعتمد عليه في دراسة الطبيعة .

ا) تظهر لنا الأرض في الملاحظة العادية مسطحة مع عدم استواء محلي ، ولهذا فإن الحس المشترك للأقدمين ثار ضد أول افتراض لكرويتها منذ القرن الرابع قبل الميلاد بحجة استحالة المشي عند الانسان ورأسه الى الأسفل ولهذا رفض وجود النقط المتناظرة على سطح الأرض .

ب) ثم قُبلت فكرة كروية الأرض بعد ذلك ببضعة قرون ، وأصبحت

---

١ — يتوجب علي التفريق بين « الحس السليم » و « الحس المشترك » لأن الأول حسب التعريف منزه عن أغلاط الثاني .

الأرض كرة نستطيع قياس أبعادها . ولكن الحسّ المشترك يرفض بجذع شديد فكرة دورانها حول نفسها الذي يقترحه بعض الفلاسفة . فنحن نراها ثابتة ولا نشعر بأي اهتزاز او جلبة . أما الفلكي بطليموس فإنه يرفض الدوران استناداً الى حجة أقوى من هذه ؛ فيقول ان الدولاب الذي يدور يمتلك قوة نابذة تكون أشد كلما كانت سرعة دورانه أكبر ، فإذا كانت الأرض تدور في ٢٤ ساعة كما يفترض بعضهم فإن نقط خط استوائها سوف يكون لها سرعات هائلة [١] تجعل المخلوقات والبيوت ، والأحجار والمياه تقتلع وتقذف في الهواء ، بل ان الأرض نفسها تتطاير شظايا [٢] . وهذه الحجة كما نرى ليست علمية بل تستند فقط على الحس المشترك .

ج) تدور الأرض حول الشمس مرة في العام، وقد توصل الى هذه النتيجة اريستارك منذ سنة ٢٧٠ قبل الميلاد . ولكن « جمود الأرض » و « نارها الداخلية » و « ضرورة احتلالها مركز الكون » كانت عند اليونان معتقدات فلسفية بل ودينية ، وهكذا نقرأ في بلوتارك : « وكان كليانت الرواقي يعتقد أنه كان من الواجب وضع اريستارك في قفص الاتهام لأنه مس المقدسات بتغير مركز الكون » .

وبعد ذلك بثمانية عشر قرناً يبعث كوبرنيكوس نظرية ارستارك فيوضع كتابة في اللائحة السوداء . ثم كانت محاكمة غاليليه المشهورة لمساندته زندقة القائلين بحركة الأرض، ثم كان احراق ديكارت « لكتاب الفيزياء » عند سماعه بالاتجاه الى اضطهاده . كل هذه الخسائر تلحق بإيمان أعمى في ظاهره .

---

١ – ٥٠٠ مترا في الثانية .

٢ – وقد بقيت هذه الحجة قوية الى أن استطاع هيوجنز عام ١٦٦٩ أن يحسب عبارة التسارع الدوراني فوجد ان هذا التسارع هو $\frac{س^{٢}}{ش}$ حيث س هي السرعة الخطية وش هو شعاع فلك الدوران . وفي حالة الأرض فإن شعاعها كبير جداً بحيث ان هذا الكسر يكون صغيراً ولا تأثير له البتة .

د) وكما خدَعَ الحسُّ المشترك الانسانَ في علم الحيل ، فإنه قـد رسخ في ذهن الانسان قديماً ان الحركة تتلاشى اذا لم يستمر الدافـع وان حركة النجوم والكواكب « الطبيعية » تكون دائرية . وقد قضى هذان الخطآن على جميع جهود اليونان في إقامة عـلم للحيل . فينقضي ألفان من الأعوام قبل أن يكتشف غاليليه وديكارت مبدأ القصور : الحركـة المعزولة عن كل مؤثر خارجي تستمر الى الأبد حسب خط مستقيم .

هل يوجد حقاً مبدأ يتناقض أكثر من هذا المبدأ مع الحس المشترك ؟ ومع ذلك فبدونه كان يستحيل خروج الديناميك الى حيز الوجود .

الدليل الحقيقي هو العقلية العلمية . — إن هذا الحس المشترك لن يكون في الغد سوى عناداً أعمى ، فلنحذر من هذا الدليل الذي ضيع العـلم طوال التاريخ. والتاريخ يظهر بجلاء أن الظواهر خدّاعة وأن المنطق الانساني وحده غير كاف لاكتشاف الحقيقة، وإن أفضل دليل على تخبط العقل عندما يدور في الفراغ ويبتعد عن الملموس هو تلك المناقشات التي عقّمت العصور الوسطى .

فالدليل الحقيقي هو العقلية العلمية التي تظهر نتائجهـا في ازدهار العلوم وغزارة محاصيلها وتتلخص في اتبـاع الطريقة التجريبية حيث بتساند العقل والتجربة .

ولكن العلم ليس فهرساً أو جدولاً للمعلومات ، فعلى عاتق الخيال والعقل الانساني يقع عبء تلقيح المعلومات وجمعها، وترتيبها، وذلك بإقامة النظريات الشاملة . وعند قرع هذه النظريات بالتجربة يجب الأخذ بالتجربة واعتبـار الأولوية لها والانحناء أمام حكم الطبيعة وترك السبل التي لا منفذ من ورائهـا ليتسنى اكتشاف الطرق المفتوحة التي تؤدي قدماً الى الأمام .

وهكذا تكون النسبية أفضل مثال لهذه الوداعة المطلوبة ، فانهـا قبلت حكم التجربة ، وبهذا استطاعت الفيزياء التخلص من القيود التي كبلتها لتنطلق بخطى واسعة في طريق عجيبة .

هل النسبية حقيقية ؟ — إن حقيقة نظرية فيزيائية لم تكن ولن تكون مطلقة . فالجواب الممكن الوحيد لهذا السؤال هو : ان النسبيـــة تفسر الى هذه اللحظة أكبر عدد ممكن من الظواهر الطبيعية وذلك على شكل أفضل من أية نظرية سابقة . أما النظريات التي ستقوم بعدها فإنهـــا سوف تتضمن النسبية حتماً وستكون أشمل من هـــذه وسوف تنجح في تفسير ما فشلت النسبية في تفسيره (أي عندمـــا تظهر ظواهر جديدة وتفشل النسبية في تفسيرها) .

وبهذا الشكل سادت نظرية الحيل القديمة التي قامت على مجهودات نيوتن عام ١٩٦٧ في كتاب « الاسس » ، وبدون منازع ولا منافس طيلة قرنين ، وحققت في نواحي الفيزياء وخاصة في عـــلم الفلك انتصارات مدهشة سوف تبقى من أروع عناوين انتصار الذكاء الانساني . علم الحيل هذا مع قانون التجاذب الكوني لا يزالان يؤديان نفس المتطلبات التي أدياها في الماضي ولهذا السبب لا يزالان موضوع الدراسة في المعاهد والكليات . ولكن مـــا نصيبهما من الصحة ؟ نحن نعرف الآن أن الافتراضات الأساسية فيهما لم تكن صحيحة وأن النتائج مهما بلغت من الدقة فانهـــا لم تكن إلا تقريبية . فالدساتير التي استخدمها علم الحيل خاطئة ولكن نتائجها قريبة من الواقع ومرضية عندمـــا تكون السرعة ضعيفة لدرجة أنها خفيت طيلة قرنين قبل أن يظهر خطأها .

ثم تلتها نظرية النسبية ، فأدت صياغة الافتراضات الأساسية من جديد ، إلى دساتير جديدة تعطي نفس النتائج التي تعطيها نظرية نيوتن عندما تكون السرعة ضعيفة ، ولكنها تنفرد بالتطابق مع معطيات التجربة عندمـــا تصبح السرعة كبيرة . هذه النظرية لا تطمع حتى بالسيادة بقدر سابقتهـــا لأن تقدم العلوم في هذا العصر قد أصبح كبيراً . فإن أينشتاين ، واضعهـــا ، يشتغل بنفسه ليرتفع فوقها (وقد نجح مرة أولى في تعميمها) وذلك بأبحـــاث صعبة حول المجال الموحد . ولا ننسى أخيراً أن النسبية اختصت في مجال المتصل ،

وأن نظريات المنفصل التي يحسب حسابهـا ، بعد أن استندت على معادلات النسبية أصبحت تظهر أكثر مساساً لطبيعة الواقع الداخلية . ثم انه قد أصبح واقعاً وواضحاً أن كل دستور لمتصل لن يكون له في كونـنـا سوى قيمة إحصائية ، أي تقريبية ، مهما كان هذا الدستور متوافقاً مـع قياس الانسان الذي هو على العموم غـير دقيق ومتعلق بحس الانسان ، مع استثناء بعض مختبرات الفيزياء الذرية .

يرى البعض أن البناء الهائل لنظرية النسبية يرتكز على دعائم مضحكة في دقتها . بل قيل أنهـا تستند على تجربة ميكلسون . والحقيقة هي أن تجربة ميكلسون قد جعلت الأزمة التي طالت شديدة الاحتدام . فقد كان ميكلسون يأمل أن يدلل على انسحاب الأرض حول الشمس ، وكان جهـازه قادراً على إبراز سرعة أصغر بـ ٢٠ مرة من السرعة المطلوب التدليل عليها ، أي سرعة الأرض حول الشمس . ومع ذلك فان النتيجة ، رغم أن التجربة قد أعيدت مراراً عديدة منذ سنة ١٨٨١ ، قد بقيت سالبة بشكل يدعو الى التشاؤم . فهذه البداية لوحدها ليست عديمة الأهمية .

ولكن يوجد ما هو أهم من تجربـة ميكلسون ، وذلك أنه تبين أن الحيل والاليكترودیناميك لا يمكن أن يتعايشا سلمياً . وان التوفيق بينهما مستحيل ، وذلك لتناقضها . وعلى هـذا يجب الاختيار بينهما . وكان من الممكن أن يظهر هذا التناقض منذ زمن بعيد لانـه كان موجوداً ساعة ولادة الاليكترودیناميك . ومن المؤسف حقاً أن تضيع الفيزياء كل هـذه السنوات وكل هذه الجهود في محاولة التوفيق بينهما . وبالاختصار فان تجربة ميكلسون لم تكن ضرورية لاثبـات التناقض . فقـد كان ممكناً لبصيرة نفاذة ان تعلن قبل اينشتاين بـ ٥٠ سنة بدون الاستناد الى وقـائع أو تجارب ، استحالة تعايش مفهومين متناقضين .

ولكن كون الاختيار اجباري لا يعني كونه صعباً . فالفيزيائيون جميعـاً

يفضلون الاليكترودیناميك وعلم البصر ، حيث البراهين دقيقة ، والمواضيع شائقة، والسرعات كبيرة، على علم الحيل، حيث السرعات ضعيفة والمتحركات كثيفة ووازنة والبراهين تقريبية .

وعلى هذا استطاع الاليكترودیناميك أن يشمل الحيل لأن قوانينه مضمونة في القوانين الجديدة . والعكس ليس صحيحاً فقوانين الحيل لا تتضمن قوانين الاليكترودیناميك وكان الامتصاص مستحيلاً في الاتجاه المعاكس للذي حصل .

ماذا تغير النسبية في الحياة اليومية ؟ – « إذا كان علم الحيل غير صحيح فلمَ كل هذا الوقت لاكتشاف ذلك؟» والحقيقة ان علم الحيل بتقريبه كاف جداً. فالاوزان التي يشتغل بها التاجر ، وسرعة السيارات على الطرقات لا تتطلب دقة عظيمة . ولا تأخذ النسبية مكانها اللائق إلا عند تتطلب الدقة الكبيرة ، فهي مشرط الفيزياء الدقيقة .

« وعلى هذا ألم تغير الفيزياء شيئاً في هذه الدنيا ؟ » . من المؤكد انه يمكن للفرد أن يحيا ويموت وهو يجهل ، لا النسبية وحدها بل وأي نوع من النظريات . فالمراحل الفكرية الكبرى لم تغير الحياة اليومية فجأة . ولكنها مع ذلك مهدت الطريق امام التقدم البشري في فترة قصيرة أم طويلة وبدون أن يشعر الانسان بذلك . وما حضارتنا المادية ، وفلسفتنا الى حد بعيد ، إلا وليدتا انتصار عدد ضئيل من الأفكار العظيمة .

فلم يمض على موت كوبرنيكوس أربعة قرون كاملة ، ولم يكن نظامه أكثر فعالية من نظام بطليموس ، ورجل الشارع ما زال عديم الاهتمام بذلك. ومع ذلك فان فكرة كوبرنيكوس قد لقحت العصور الحديثة . فبدونها لا يمكن أن يوجد كبلر ونيوتن وكل ما نتج وراء نيوتن . وكذلك فإن فلسفة أرض ثابتة في مركز الكون لا تمت بصلة الى فلسفة كرة مهملة تدور حول شمس عادية في سديم عادي .

وسيكون الحال فيما يخص النسبية على هذا المنوال ، ان الحيـــاة اليومية تسير مسراها الرتيب ، ولكن العلم قد خطى الى الأمام خطوة هائلة . أمـا الفلسفة، فإن العلم لا يزال مادتها السنجابية : فالفيلسوف، رضي أم كره، لن يستطيـع التفكير بعد اينشتاين مثلما كان يفكر قبله .

وقد أيّد بعض العلماء النسبية عملياً لا قلبياً . فهم يستعملون قوانينها بعد أن تأكدوا من فائدتها ولكنهم لم يفقدوا الايمان بالزمان العزيز . وعندمــا تكون المسألة عاطفية يكون الاقناع باطلاً .

فلنستمع الى عـالم عبقري كماكس بلانك ، واضع أسس نظرية الكموم بعد صراع شديد ، يقول رأيه بقسوة :

« إن الأفكار العلمية الكبرى لا تنتشر في العـالم عند تأييد خصومها لها بعد اكتشافهم لصحتهـا . والذي يحصل فعلاً هو أن الخصوم يموتون بينما ينشأ الجيل الجديد في ظلها . فمن كان الشباب بيده كان له المستقبل » .

٢

الزمن العلمي
نشأته وتطوره بالقياس

١ – **الزمن كما نشعر به** . – يظهر لنـــا الزمان والمكان ، في ممارسة نشاطنا اليومي، كمبدأين واضحين بحيث يستحيل تعريفهما بأفضل من اسميهما . ويتأثر هذان المبدآن بذاكرتنا . فعندما نحاول تذكر الماضي ، نجد ذكريات مشاعر حسية لحوادث ، ليست متمايزة ومنفصلة فحسب بل مرتبة في نظـام معين كالخطوط على مسطرة مرقمة . هــذا الوعي بالترتيب الخطي لأفكارنا أو للحوادث، الذي يظهر عفوياً ، هو الذي يؤلف مبدأ الزمن الشخصي الداخلي. إذن فالزمن النفسي أي الزمن الذي نشعر به يمكن تعريفه كمغير يرتب اجمالياً تجاربنا الذهنية في مجرى حياتنا .

ان مبدأي الزمان والمكان يظهران بديهيان وضروريان لدرجة يصعب معها ان لا نعتبرهما من معطيات الوعي الأولية. ولكن التاريخ يثبت تطورهما الكبير وبأنهما من اختراع الذكاء وليس من معطيات التأمل الداخلي . وقــــد نميا مع الذهن البشري الذي صاغهما بنفسه .

ففي أشعار هوميروس (ما بين القرن التاسع والقرن الثامن قبل الميلاد) لا نجد كلمة للدلالة على المكان. ثم ان المكان في بداية الفلسفة اليونانية لم يكن يعني المكان بذاته ولم يكن يرد إلا على كونه محلاً أو موقعاً للأشياء . فالمكان الخالص أي انعدام الأشياء ، والزمن الخالص أي انعـــدام الشعور والتفكير اللذين هما من صنع التجريـــد لم يبرزا إلا ببطء شديد . وفي قصائد هزيود (القرن الثامن) لم يكن مبدأ الزمن يفضل على مبدأ المكان من حيث التجريد. فقد كان عبارة عن رصد فلكي جوي مرتبط بحياة الحقول والمواشي. أما المبدآن المجردان فإنهما قد برزا على ما يظهر في اليونان في العهد الأيوني ابتداء من القرن السادس قبل الميلاد .

والفلاسفة الماورائيون يعتبرون الزمن المعاش على كونه مبدءاً معقداً متغيراً مع عمر الذكاء . وها هي العمليات التي نحصل بواسطتهـا على شعور متسلسل بالحوادث حسب رأي برغسون :

١ ــ يفصل كل انطباع عن مجموعة الانطباعات التي يؤلف معها كتلة واحدة.
٢ ــ يُجرّد من صفاته الخاصة ليصبح وحدة حسابية قابلة للجمع .
٣ ــ ثم تسقط الوحدات الذهنية الناتجة بهـذا الشكل في مكان وهمي حيث تنتظم خطياً .

ولكن هذه الصورة الذهنيه تنقصها الأمانـة كما يقول برغسون ، فالحركة هي شيء آخر وليست سلسلة من الأوضاع يمر فيهـا الجسم المتحرك . كذلك ليست الديمومة سلسلة من اللحظات المنفصلة فهي التي تنقلنـــا من لحظة الى أخرى . فالظواهر النفسية تنصهر فيما بينها كالأصوات الموسيقيـة التي تؤلف النغم وما الديمومة إلا التأليف السمفوني للحالات الذهنيـة وليست انتظامهـا الاصطناعي .

لقد اعتقدنا أنه من الضروري لزيادة الفائدة ، أن نلمح الى هـــذا المظهر الفلسفي للزمن حتى نتبين ان هذا المبدأ الذي يعتقد الجميع بكونه واضحاً ،

ليس دون شك من المعطيات البسيطة . هذا المظهر الفلسفي لا يمنينا في بحثنا لأن العلم قد أقام لنفسه زمناً خاصاً به وهذا الزمن هو الذي يجب علينا أن نتبعه .

إن الزمن الفاصل بين حالتين من حالات الوعي ، هو الذي يولّد عندنا مبدأ الديمومة . ولكن تقدير هذا الزمن الفاصل غير دقيق فانه يتأثر بعدد الحوادث وبطبيعتها وبقوتها التي تحدث في تلك الفاصلة . وحياتنا كأفراد مفكرين لا يناسب قياسها بالساعات بل انها تقاس بما يشغل تفكيرنا .

فعلى ما يظهر ، إذن يرتبط مرور الزمن عند الفرد بتطور المادة الصمغية « الكلويدية » في خلايا جسمه وخاصة خلايا دماغه . وما اضطراب الشعور بالزمن في بعض الحالات الشاذة (النوم) أو المميتة (الحمى ، والتسمم) إلا تغيرات في توازن صمغيات الجملة العصبية . ولكن تطور المادة الصمغية يتمشى حسب المبدأ الثاني للترموديناميك (مبدأ كارنو) فهو إذن لا تراجعيّ . فالظواهر المعقدة، أي التي تشارك فيها حوادث بسيطة عديدة مستقلة، تتطور في اتجاه محتوم الى حالة أكثر احتمالاً بدون أمل في الرجوع الى الوراء، أي الى حالة أقل احتمالاً . إذن فمجرى حياتنا ومجرى ديمومتنا المحتوم يظهران كحالة خاصة لأعم مبدأ فيزيائي يخص المجموعات المعقدة .

٢ – الزمن الحيوي . – إذا كانت المدة قصيرة فان الجسم الحي يقدم عدة وسائل لتقديره كمياً ، كنبضات القلب ، وإيقاع حركة التنفس ، وعدد خطوات السائر على قدميه ، والتعب العضلي ، وجميعها غير دقيقة ، لكن الانسان يحسب حسابها أأحب أم كره .

وقد بذلت الفلسفة والعلم الحديث كثيراً من الجهود والدروس حول هذه الطريقة للشعور بالزمن وتقديراته ، والموضوع شائق وخصيب ، وأكتفي بالاشارة هنا الى أن مبدأ الزمن الذي يعطيه الدماغ البشري يتغير مع الزمن. ويلعب تقدم السن دوراً أساسياً في هذا التغيير فالأيام تمر أسرع منها عند

الشيخ من الطفل . ويحاول علماء الأحياء أن يقيسوا هذا الشعور بالمدة التي يتطلبها إلتآم الجروح في الأنسجة في مختلف مراحل العمر، فإذا لم تكن الرابطة بين هذه الظواهر شديدة الوضوح فإنه ليس مستحيلاً التصور بأن تأخر الحركات المكسية والقدرة الحسية عند الشيوخ مسؤولة عما يطرأ على سرعة انفلات الأيام .

٣ ـ **زمن الساعات هو أول زمن علمي .** ـ من الضروري في حياة المجتمع تنسيق الانطباعات الفردية للزمن بحيث تتوافق مع تقدير الجميع شرط أن لا ترتبط بتقدير فرد معين ومعني ذلك أنه يجب تجسيم الوقت وإعطاؤه صبغة خارجية . ولتحقيق هذا أوجدت الساعة ؛ وكل ظاهرة فيزيائية يمكن أن تلعب دور الساعة شرط أن تتكرر بانتظام بقدر ما نشاء . وأول جهاز استخدمه الانسان قديماً لقياس زمن قصير هو وعاء دقيق في الوسط ومنتفخ في الطرفين ويحتوي على رمل ناعم ، وافترض أن الرمل ينتقل من طرف الى طرف في مدة ثابتة ولكن من الضروري أن نلاحظ أن هذا الثبات ليس إلا افتراضاً .

وأما الساعات التي نستخدمها فإنها رغم التحسينات التي أدخلت عليها ، تقيس الزمن استناداً الى نفس المبدأ ، فهي تسجل ترداد عملية دورية تفرض أنها ثابتة (كضربات نواس أو رفاس ، أو زمن اهتزازة ضوئية) . ومما يقوي إيماننا بثباتها عملية توافقها في زمن معين .

وهكذا تكون ولادة الزمن الموضوعي العلمي مستندة على افتراض . ولكن بعد قبوله فإننا نعطيه ثقتنا ونستخدمه في ضبط الزمن الحيوي الذي كان السبب في ولادته .

الزمن الفلكي . ـ إذا كانت الساعات صالحة لقياس مدة من الزمن قصيرة فإنها غير كافية لقياس الأزمنة الطويلة . لأن التجربة تظهر لنا انه لو وضعنا عدة ساعات جيدة مضبوطة بقرب بعضها فإننا نلاحظ فرقاً فيما

بينها يتزايد بدون ضابط مع طول المدة .

ومن حسن الحظ ان الطبيعة وهبت الإنسان ساعة هائلة شديدة الدقة في قياس الأزمنة الطويلة .

فتتابع الليل والنهار ينظم نشاط الحيوانات ، والبحث عن مأكلها وضبط زمن نومها . فاليوم وحدة زمنية عامة تفرض ذاتها وترتبط ببزوغ الشمس فوق الأفق . واعتبرت وحدة الزمن الطويلة هذه ، الموافقة لاحصاء الأزمنة الطويلة، ثابتة أمام الزمن الحيوي وأمام زمن الساعات القديمة . وهكذا بقيت الشمس الى القرن السابع عشر تنظم طول اليوم، واستخدمت الأدوات البشرية في تقسيم اليوم الى ساعات ودقائق وثواني .

وقد ساد اختراع هيوجنز للساعات ذات المخرج ، ثم تحسينها السريع ، على الكشف عن دقة اليوم الشمسي كوحدة زمنية . فظهر ان ثباته لم يكن سوى وهماً، وهذا الافتراض ليس صحيحاً، إذ يمكن، بواسطة ساعة تبلغ دقتها ثانية واحدة في كل ٢٤ ساعة اكتشاف عدم تساوي الأيام الشمسية ، فاليوم الثالث والعشرون من كانون الأول (ديسمبر) يزيد ٥١ ثانية عن السادس عشر من ايلول (سبتمبر) .

وهكذا تم استبدال اليوم الشمسي المتغير بوحدة أفضل منه بكثير ، ترتكز على ظاهرة شروق النجوم وغروبها . لأنه قد لوحظ عند استعمال عدد كبير من الساعات الجيدة ان مرور نجم معين في نفس خط الزوال يقع في أزمنة منتظمة . هذه الوحدة الجديدة دعيت اليوم الفلكي وظهرت ثابتة بدليل أفضل الساعات .

واعتبرت هذه الوحدة ثابتة، واستخدمت قاعدةً لمبدأ الزمن الجديد الذي لا زلنا نستخدمه الى الآن في الحياة العادية وفي المراصد الفلكية . أما الزمن الشرعي فهو يتغير طردياً مع الزمن الفلكي الذي ينحدر منه . وبدون أن نتوقف عند الأسباب العملية لاستعمال الزمن المتوسط ، والاتفاقيات المختلفة

حول الساعة، نكتفي بأن نشير الى أن الثـانية المتوسطة تساوي حاصل ضرب الثانية الفلكية بالعدد ١,٠٠٢٧٣٧٩١ . وهكذا نرى أنه يمكننا الاكتفاء بالزمن الفلكي .

وقـد ضُبط الزمن الفلكي بدقة متتابعة بواسطـة رصد النجوم منذ بدء استخدامـه في أواخر القرن السابع عشر ، وخـدم العلم وكفى حاجاتـه طيلة ٢٠٠ سنة حتى ان ساعات اليوم الموجودة في المراصد تبلغ دقتها واحداً من مئة من الثانية . وفي هـذه الحالة يكوّن دوران الأرض حول نفسها ساعة كبيرة لأن حركة النجوم هي حركة ظـاهرية تنتج من دوران حول نفسها .

هل هذا الزمن الفلكي ثابت ؟ — لقد كان الأساس الذي جعلنـا نضع ثقتنا في الزمن الفلكي هو الكفالة أو الضمان الذي أدته أجود أنواع الساعات. ولكن هذه الساعات تتـأثر بعوامل الحرارة والضغط والغبـار وبالاهتزازات التي تتلقاها ... الخ . ولكن الآية قلبت منذ زمن طويـل فأصبحنا نطمئن الى ساعة ما بقدر ما توافق مع الزمن الفلكي .

أما ميزة الأرض بكونها ساعة هائلة فإنها تدعو الى الثقة ، فالأرض تلعب درر حدافة[1] عملاقة تبلغ كتلتها ٦×١٠^٢١ طناً (أي ٦ وعلى يمينها ٢١ صفراً) تدور في الفراغ (بحيث ان الطبقة الجوية تؤلف جزءاً منها وتدور معها) . ويظهر لنا للوهـلة الأولى ان هذه الحركة منعزلة ، حسب قانون القصور أو حسب نتيجة من نتائجه، فإن هذه الحركة يجب أن تكون أبدية .

ومع ذلك فإن التفكير يبين لنا عدة ظواهر قادرة أن تؤثر في انتظـام هذه الحركة في مدة طويلة . فالمـد والجزر ، بالاحتكاك الذي يتولد عنـد

---

١ — حدافة : هي جسم مادي يستطيع أن يختزن الطاقة الحركية وأن يعيدها فينظم بذلك حركة غير منتظمة . وأهم أنواعها الدولاب الذي يلحق بالمحرك الانفجاري لينظم حركته .
(المترجم)

الشواطىء ، يولدان طاقة بدأ الانسان يفكر في استغلالها ، فهي من العوامل المعرقلة للدوران .

ثم ان الفضاء الكوني ، من جهة أخرى ، تخترقه مفتتات كونية نشاهدها تتساقط على الأرض على شكل نيازك وشهب ، فيكوّن محيطاً مقاوماً نوعاً ما وبذلك يعرقل الدوران والانسحاب .

ثم ان سقوط النيازك يزيد في كتلة الأرض ، وبذلك يتولد سبب آخر يعرقل الدوران .

وهناك عوامل أخرى غير منتظمة تؤثر في الدوامة الكبرى كتغير أوضاع المادة داخل الأرض (الزلازل) أو على سطح الأرض (تراكم الثلوج حسب الفصول) . لنتتبع الفكرة الى أبعد ما يمكن : إن كل فرد منا عندما يرفع إصبعه ، فإنه يغيّر مركز ثقل الأرض ويؤثر إذن في عزم قصورها أي في دورانها أي في طول اليوم الفلكي .

والخلاصة هي أن المنطق يتنبأ بتقصير الزمن الفلكي الذي لا يمكن أن يضمن ثباته في مدة طويلة .

٥ — **المرحلة الخامسة : الزمن النيوتني** . — إن علم الفيزياء لا يهتم بتعريف الزمن بل يكتفي بقياسه لأن تاريخ العلوم الطبيعية يدل أنه ولو لم يكن للموضوع المدروس تعريفاً محدداً ، فذلك لا يمنع من متابعة البحث . وعلى هذا يكون عمل الفيزيائي متناقضاً أمام عقلية لا تقبل إلا الاستناد على أطر ثابتة ، لأن الفيزيائي لا يستطيع تعريف موضوع بحثه إلا بعد الانتهاء منه ! فلتعريف الزمن يلزم بدون شك إنهاء الفيزياء أولاً ! ونحمد الله أن الفيزياء تعيش على القياس لا على المفاهيم ، وهي تكتفي بتقديرات متتابعة شرط أن تتحسن هذه التقديرات باستمرار .

ومع ذلك ، فقد انساق العلم الذي دأب على تحسين وسائل قياس الزمن الواقعي الملموس الى خلق زمن مثالي مجرد ، زمن كوني يجري بانتظام في جميع

الأنحاء . وعندما أسس نيوتن علم الحيل الخاص به ، استند قبلياً على هـــذه الميزات المطلقة للزمن .

وهكذا يعطي أول قانون في علم الحيل هذا طريقة لحساب هـــذا الزمن المثالي ، فقانون القصور يقول ان المتحرك المنعزل يقطع مسافات متساوية في أزمنة متساوية فهو بذلك يدل ويعرّف على معنى الأزمنـــة المتساوية (شرط أن نعرف المسافات المتساوية ، وهذا سهل في مكان مطلق) . يحـــدد قانون القصور إذن معاملاً متبدلاً (ز) هو الزمن النيوتني . والمعامل المتبدل (ز) الذي يدخل في قوانين ومعادلات الفلك هو هذا الزمن المنتظم المثالي . وتتنبأ النظريات بمواقـــع الكواكب والقمر في قبة السماء بدلالة هذا الزمن، ثم تقارن هذه المواضع المستنتجة نظرياً مع المواقع التي تحتلها هذه الأجرام فعلياً .

ولكن الارصاد التي تجري منـــذ أيام نيوتن تستخدم الزمن الفلكي ، فهم إذن يعتبرون الزمن المثالي وبكامل رضاهم على أنه الزمن الفلكي. وقد اعطتهم التجربة الموافقـــة على ذلك طيلة قرنين ، ذلـــك ان الأوضاع المحسوبة تتوافق مع الأوضاع الفعلية .

ولكن الفلكي دلونوي قـــد تنبه منذ قرن تقريبـــاً الى أن القمر يسبق مواضعه النظرية . فاتهمت النظريات بالخطأ ونزل رياضيون لامعون الى الميدان لمحاولة سد هذه الثغرة بدون جدوى . فقد بقيت الثغرة وتابع القمر تقدمه .

ثم اتجه التفكير الى إتهام الزمن الفلكي ، فهو ليس الزمن المعبَّر عنـــه في المعادلات بل هو زمن ساعتنا الأرضية فهو مادي وغير صاف. فلو ان الأرض أبطأت في دورانها ، فإن هذه الساعة ستؤخر حتماً ، وعلى هذا يجب أن نرى النجوم تسبق مواضعها النظرية التي يجب أن تحتلها في زمن ما .

إذا كان هذا التفسير صحيحاً فليس من سبب يجعل القمر وحده يتقدم على أوضاعه بل يجب أن تشاركه في ذلـــك كل الكواكب . ولكن ذلك من الصعب التأكد منه ذلك أن القمر يقطع ، في زمن واحـــد ، مسافـــات أكبر

بكثير من الكواكب . ومع ذلك استطاع دي سيتّر أن يقوم بذلك فكانت نتائجه التي نشرها عام ١٩٢٧ ، حاسمة وقاطعة : جميع الكواكب متقدمة على أوضاعها ! وأشدها تقدماً هي الكواكب السّريعة أي عطارد والزهراء والمريخ ولكن القمر بقي الدليل الأوضح في هذه الأبحاث .

فالكرة الأرضية كساعة قد تأخرّت ١٧ ثانية في قرن بالنسبة الى الزمن النيوتني . وهذا التأخير سوف يتزايد حسب مربع الزمن .

وإذا حسبنا تواريخ الكسوفات التي ذكرها الأقدمون والتي عينوها بدقة فإننا نتأكد مرة أخرى من هذا التأخير ؛ وهكذا يكون الكسوف الذي ذكره بطليموس منذ ٢٠٠٠ عام متأخراً بمقدار ساعتين بالنسبة للحساب النظري .

ثم ان دي سيتّر برهن على تغير الزمن الفلكي تقدماً أو تأخيراً في مناسبات عديدة، يتوافق أهمها مع تغيرات أوضاع القطبين الأرضيين التي تحصل بما لا شك فيه من تغير أوضاع داخل الأرض أو على سطحها .

وهكذا خطت الفيزياء مرحلة جديدة في سبيل قياس وتعريف الزمن الذي تستخدمه، ذلك ان رصدَ القمر المستمر أظهر نقائص الزمن الفلكي ليصححها ويعطي الزمن النيوتني المنتظم .

خلاصة هذا التطور . — في البدء كان مبدأ نفسانياً يُسهّل تقدير بعض الايقاعات الحيوية ، ثم صنعت عدادات الزمن استناداً على ظواهر مترددة تطابق شعور جماعة من الناس . وأخيراً وبعد زمن طويل فرضت الأرض نفسها على الانسان كساعة وحيدة تفوق دقتها بكثير دقة أحسن أجهزته .

ثم يأتي اليوم الذي تُفضح فيه أمانة هذه الساعة فتهبط الأرض من عرشها . ويتخذ العلم النظام الشمسي بكامله كساعة ، حيث يكون علم الحيل

عجلاتها وتكون الأبراج أرقامها ويكون القمر والكواكب عقاربها ، وذلك كله في سبيل حساب الزمن النيوتني .

خرافة الزمن المطلق

وقد عثر الفلاسفة الماورائيون الأقدمون، في نهاية تأملاتهم، على زمن مطلق. لأنهم اتخذوا مبدأ الزمن الداخلي أساساً أولياً لهذا التفكير ، وهـذا الزمن الذي عـثروا عليه يقع خارج الوعي خالصاً من شوائب المادة والمكان ، ومستقلاً عن حركة المادة في المكان ، وأخيراً يمتلك قيمة كونية .

وعندما استعارت الفيزياء هذا المطلق الزائف ، الذي لم تجد أفضل منه ، من فلسفة ما وراء الطبيعة بمساعـدة نيوتن ، دخلت في طريق لا منفـذ له . ولكن علينا أن نعترف ان هذا الطريق ظهر لمدة قرنين كميدان ملكي .

كيف استطاع هذا المبدأ التطبيقي العملي أن يصبح مثالياً عند الانسان ؟ ان ذلك يرجع الى التوافق التقريبي لتقديرات الزمن عنـد أشخاص يعيشون متقاربين. ثم جاء توافق الساعات في ظروف متشابهة ، فأدى ذلك منذ القديم الى تعميم كامل للزمن ، وقبلت هذه الفكرة في جميع الأمكنة والأزمنة .

ولكن من التناقض الواضح أن تكون الظاهرة سابقـة لمسببها . فإذا أسبقت (ب) بالنسبة لمشاهد ، فإنها قد تكون مسببة لها أو على الأقل مؤثرة فيها . ولمراعاة الحتمية كان من اللازم الاعتقاد بكون تتابع هاتين الحادثتين ثابتاً لأي مشاهد كان [١] .

ومن هذا بني صرح الزمن الخالص المجرد عن ظروف قياسه وعن محيطـه المادي الذي ولد فيه وحيث يستعمل .

غير انه لا يحصل أي شيء ، يقع في الوعي أو خارجه ، دون أن يدخل العلم تعديلاً فيه . فالزمن بالنسبـة للوعي وبالنسبة للعلم ، يظهر لنـا تطور

---

(١) تتنبأ النسبية بظهور ترتيب الحوادث بطرق مختلفـة مع احترامهـا للحتمية (أنظر الفصل الثالث) .

الكون أو مُدْرَكاتنا، فهو بذلك مشرك بتغيرات ما. وهكذا فان أعيننا التي نبهتها النسبية تنظر بعجب الى صورة هذا الزمن بذاته، المستقل عن الحوادث، والذي يحتفظ بكيان خاص في عالم فارغ. ففي كون فارغ لا يمكن الشعور بزمن بل ان هذا الكون ليس بحاجة له.

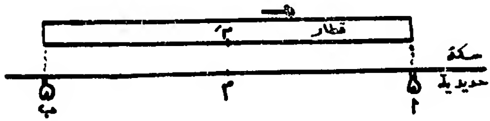
بأية شروط يكون الزمن العلمي مطلقاً ؟ — الزمن المطلق القابل للقياس يفرض على الكون الطبيعي ميزات جائرة : الأولى هي إمكانية الانتشار الفوري ، والثانية السرعات اللانهائية . التعلق بالزمن المطلق كان يدعو الى إغماض العين عن متطلباته المكروهة من الفلاسفة والعلماء على السواء .

لنحاول توضيح هذا الإرتباط .

تكون الحادثتان متواقتتين إذا حصلتا « في آن » واحد . بالنسبة الى الزمن المطلق ، جملة « في آن واحد » لها معنى خاص بحد ذاتها والتواقت شيء له وجود مطلق ذاتي . ولكن المبدأ لا وجود له أمام الفيزيائي إلا إذا أمكن التحقيق منه تجريبياً . فتعريف الآنية يتطلب معرفة فيما إذا كان (أ ، ب) قد حصلا معاً في آن واحد أم لا .

بأي شرط يكون كونياً التواقت الذي يلاحظ تجريبياً ؟

لنفرض وجود كون لا يقبل الانتشار الفوري وحيث يكون الضوء أسرع عامل للإستعلامات .



شكل (٢)

ولنتخذ الحادثة (أ) على كونها إشارة ضوئية قصيرة (شكل ٢) وكذلك

الحادثة ب إشارة ضوئية تقع على بعد (أ ب) عن الحادثة الأولى . لنفرض المشاهد (م) في منتصف المسافة (أ ب) وينظر في آن واحد الى المصباحين بواسطة مرآة ذات وجهين مثلاً. فإذا شاهد الاشارتين الضوئيتين معاً فإنه يجزم بوقوعهما « في آن واحد » : هذه التجربة هي تعريف التواقت في الكون الذي افترضناه .

لنفرض أن المصباحين (أ ، ب) على سكة حديدية وأن مرور القطار يسبب انطلاق الاشارة بحيث يضيء (أ) عند وصول رأس القطار ويضيء (ب) عند وصول طرفه . أما المشاهد الذي نرمز له بالحرف (م) فهو يقف بجانب السكة الحديدية على الأرض فيرى الاشارتين الضوئيتين في آن واحد. وسوف يستنتج بالطبع أن طول القطار المتحرك يساوي طول المسافة (أ ب) الواقعة بين المصباحين الثابتين .

لنفرض الآن مشاهداً آخر ، نرمز له بالحرف مَ يحمل مرآة مزدوجة تريه ما يحصل أمامه ووراءه ، جالساً في منتصف القطار انه سوف يرى الاشارتين الحاصلتين في رأس القطار ومؤخرته بواسطة مرآته في آن واحد حسب ما تقدم .

ولكن القطار يحمل المشاهد في حركته الى ملاقاة الشعاع الآتي من (أ) بينما يجعله هارباً من الشعاع الآتي من (ب) . فالمشاهد المسافر يرى أولاً الإشارة الضوئية (أ) قبل الاشارة (ب). وتكون الحادثة (أ) سابقة للحادثة (ب) بالنسبة إليه ويكون تسلسل الحوادث مختلفاً عند المشاهدين (م، مَ). زد على ذلك أن المسافر سوف يستنتج أن طول القطار أطول من المسافة الفاصلة بين المصباحين (أ ب) (ذلك لأن الرأس تعدى أ قبل أن يصل الذّنب الى ب) . النتيجة : في كون ليست فيه سرعات لانهائية يكون التواقت غير مطلق ويكون الزمن إذن غير مطلق . فالمشاهدان المتحرك أحدهما بالنسبة الى الآخر يعطيان أزمنة مختلفة لنفس الحادثة بل وإن قياساتها للأطوال تكون متعارضة .

وتنشأ للزمن والمكان في هذا الكون صبغة نسبية

وفي سبيل إضافة تماثل أكبر ، يمكن افتراض قطار طوله لانهائي ، بحيث لا يلتقي مع أي خطط بجانب السكة ، ويمكن استبدال المصباحين بصاعقتين تصيبان السكة في أ ، ب والقطار في ع ، ي بحيث يمثل الحرفان أ ، ع نقطة السقوط الأولى والحرفان ب ، ي نقطة السقوط الثانية . وتكون النتائج هي هي .

إن المثال التقليدي للقطار والسكة يمتلك حسنة كبيرة وهي البساطة . فيجب ألا يستنتج، كما فعل بعض السذّج، أن النسبية تختص بمسائل السكك الحديدية . فإن النتائج السابقة عامة وتنطبق فيما لو كان أ ، ب نجمان من نجوم الكون . فالحوادث الواقعة في آن واحد بالنسبة الى م ليست كذلك بالنسبة الى مَ .

والزمن القابل للقياس والزمن المقاس ، لا يمكن أن يكون مطلقاً إلا في كون يعرف جميع مشاهديه بما حصل في آن واحد .

٦ — **الزمن النسبي** . — والكون الذي نعيش فيه ، هل يسمح بالانتشار الفوري اللحظي ؟ أم على العكس من ذلك يضع حداً أعلى لسرعة الاشارات وذلك تبعاً لبنيته الداخلية ؟ ها هو السؤال قد طرح .

لقد سلم علم الحيل القديم بوجود جمادات كاملة تستطيع أن تنقل في لحظة واحدة ما يحصل في طرفها الأول الى طرفها الثاني . ولكن الجمادات الواقعية الملموسة المعروفة مهما كانت صلابتها لا تنقل الصدمة إلا من قرب لقرب وذلك على شكل تغيرات مرنة ، وبسرعة أدنى بكثير من سرعة الضوء . وهكذا تتضامن وتتحد مبادىء الزمن المطلق ، والمكان المطلق ، والسرعة اللانهائية ، والجمادات الكاملة ، وتتطلب زيادة على ذلك أن تكون الكتلة مطلقة . وعلى العكس من ذلك فإن حدّ السرعة يفرض زمناً نسبياً ومكاناً نسبياً وكتلة نسبية .

وقد اختار العلم بحرية مع نيوتن الطريق الأول ، ومضى يجر وراءه هذه العربات من المطلق ، واستطاع أن يمضي طيلة قرنين . ولكنه وصل بجهد الأنفاس فقد أنهكته هذه المطلقات .

وقد قطعت النسبية أربطة هذه المطلقات . فما تخلص العلم منها ومن كائنها إلا وقد غدا خفيفاً طليقاً فتسنم في سنوات قليلة قمماً شاهقة على مسالك النسبي .

أما الاختيار الجديد فقد فرض عليه من قبل الوقائع . فالطبيعة لم تساند افتراضات نيوتن . وقد وافقت قياسات الزمن المطاليب وظهرت مستقلة عن المشاهد طالما لم يهتم العلم إلا بالسرعات البسيطة ، ولكن ما ان ظهرت السرعات الكبيرة في الاليكترودیناميك إلا وظهرت التناقضات معها . وبعد ١٠ سنوات من الجزع والتناقض اكتشفت الفيزياء المذنب، وقررت نفي الزمن النيوتني الذي لا يصلح للتجارب الدقيقة .

شاهد القرن العشرين نشوء مبدأ جديد ثوري هو مبدأ الزمن النسبي، زمن الكهرطيسية ، الذي تتأثر قيمته بقياسات المسافات والسرعات . ففي الحادثة الواحدة تكون قياسات الأزمنة مختلفة عند مشاهدين أحدهما متحرك بالنسبة إلى الآخر، عودة رائعة منطقية ، عودة الزمن والحركة الى الالتقاء بعد الطلاق الطويل الاصطناعي بين مفهومين لا ينفصلان ، طلاق وجد لزمن طويل في الأدمغة وفي المعادلات .

ولكن إذا كان المكان يتدخل في تقدير الزمن ، فإن قياس المسافات يصبح بدوره متعلقاً بقياسات الزمن والحركة .

ويربط اليوم مبادىء الزمن والمكان القديمين تركيب شامل يدعى المكان — الزماني . وهو يلفت انتباهنا الى الحوادث بواسطة أربعة احداثيات : ثلاثة منها مكانية وواحدة زمنية . والمكان — الزماني لا يتجزأ بطريقة مطلقة الى مكان وزمان : بل ان الظاهر تتغير بتغير النظام الذي نشاهد منه الأحداث،

كما تتغير أشكال المنظر الواحد بتغير الأمكنة التي يشاهد منها .

كل مشاهد في كل لحظة من لحظات زمنه الخاص يعمل مقطعاً مكانياً في المكان – الزماني . والحادثتان الواقعتان في المقطع الواحد تكونا متواقتتين بالنسبة اليه . ولكنهما لا تكونا أبداً معاً في مقطع آخر بالنسبة الى مشاهد متحرك بالنسبة للأول . فهما إذن ليستا متواقتتين بالنسبة للآخر .

سرعة الضوء هي غاية السرعات . – نحن لا نعرف عاملاً أسرع من الضوء . والنسبية تجعل سرعته الحدّ الأعلى للسرعات ، الذي لا يمكن لأي متحرك واقعي أن يتعداه. فالفرض الذي ينفي وجود سرعة أكبر من سرعة الضوء هو عماد النسبية . وسوف تظهر الوقائع الآتية أهمية هذا الافتراض .

فالكون يظهر لنا تركيباً كهرطيسياً كبيراً فليس غريباً أن تلعب سرعة الموجات الكهرطيسية دوراً خاصاً فيه .

ثم ان مبدأ السرعة اللامتناهية أعقبه مبدأ السرعة المحدودة . وذلك ان علم الحيل القديم عودنا على جمع السرعات وان الحساب لا يضع حداً لعملية الجمع المتتابع . فالكرة المتدحرجة على الأرض يمكن زيادة سرعتها بركلها بالرجل ، فلماذا لا يمكن تكرار هذه العملية إذا كانت سرعة الكرة الأولية هي سرعة الضوء !

النسبية تعتبر قانون جمع السرعات فاسداً . ثم انها تعتبر ان كتلة الكرة تتزايد مع سرعتها . فهذه الكتلة قد تصل الى مقدار تصبح معه دفعاتنا بلا فائدة ولا أثر . وقد أيدت تجارب عديدة النسبية : فالكتلة تزداد ازدياداً هائلاً عندما تقترب سرعة المتحرك من سرعة النور . بحيث يمكن أن نعتبر هذه التجارب دليل رضاء الطبيعة عن حد السرعات الأعلى .

وقد اعتبر أوغست كونت هندستنا وعلمنا للحركة (المكان + زمان) كشيئين لا حيلة لفكرنا في فهمها . فكانا بالنسبة له شروطاً قبلية لمعرفتنا ، يفرضها تركيب عقلنا . ولكن العقل ، كجميع ظواهر الحياة ، يجب أن

يتكيف أمام الواقع ، الذي تعطينا وسائلنا المتزايدة دوماً معرفة به مطردة التعقيد . فخلق المكان — الزماني بعد أزمة طويلة تمثل إحدى هذه التكيفات حيث اخذت الأُطر العقلانية مرونة أكبر فخرجت نفوسنا أكثر تفتحاً واتساعاً .

لقد شاهدنا تطوراً حقيقياً لمبدأ الزمن . فمن المراقبة الكمية خَرَجَ شكل كيفي جديد للشيء المقاس .

ولكن في كل هذه الدقة في تعيين الموضع في المكان والزمان تحتفظ المعاني كالموضع واللحظة بكل معانيها السابقة بالنسبة لمشاهد واحد . (لويس ده بريّ) .

٧ — **المكان والزمان الاحصائيان .** — لكي ننهي تاريخ الزمن العلمي ، سوف أعين ببضعة أسطر الطريق التي قطعت من بعد النسبية . فالمبادىء التي ترتسم على الأفق ، أكثر ثورية من السابقة. فانصهار الزمان والمكان الذي ظهر جديداً ومثمراً ما هو في الواقع إلا من صلب الفيزياء التقليدية . وعلى العكس من ذلك ، يلزم ، لمتابعة الطرق التي أشارت اليها نظرية « الكموم » تغيير الاتجاه ثم تخطي مسافات شاسعة .

فمنذ نصف قرن بدأنا نعلم أن شعورنا العادي يختص بمظهر كبير أي متعلق «باللامتناهي في الكبر» أي يدخل في حسابه عدداً كبيراً من الوحدات الأولية ، من اللبنات الصغيرة التي تصنع منها الطبيعة أحاجيها . هذه اللبنات ذات صغر لانهائي بحيث أن أقل جرثوم يتألف من مليارات منها .

ثم إن قوانين العالم الذي نعرفه هي غير القوانين التي تحرك هذه اللبنات الصغيرة . فهناك يسيطر المنفصل . والطبيعة لا تعمل إلا قفزاً . وفي هذه السوق لا تملك الطبيعة قطعاً نقدية أصغر من « الكمّ » ، فهي تستخدم قانون « الكل أو لا شيء » . وهكذا تكون الفيزياء التقليدية غير قادرة على التقدم في هذه الطريق المتقطعة لأنها هي ذات مشية متصلة . وهكذا يعجز مكاننا ،

وزماننا ، ومكاننا الزمني ، عن وصف ما يتعلق بحبات الضوء والمادة . وان محاولاتنا في فرض إطار المتصل على الطبيعة المنفصلة يولد عدم تعيين يحير ألبابنا . وفي الواقع عندما نريد قياس القيم الأولية بالزمن وبالمكان نحصل على سلسلة من القيم الممكنة التي يمكن أن يكون لكل منها احتمال في الوجود . ولكن اعتبار عدد كبير من الجسيمات، يجعل الاحصاء يُرجع للمظاهر أشكالها المعروفة : الاتصال ، الدقة ، الحتمية .

المكان الزمني المتصل الراجع الى حواسنا قد كفى الفيزياء طالما أنها لم تغطس في أعماق اللامتناهي في الصغر ، هناك تظهر عدم قدرته وكفايته وتكون قيمته إحصائية فقط . ويجب على العلم استخدام معاملات متبدلة خاصة خارجة عن الزمن والمكان ، إذا أراد وصف عملية منفصلة . وهذا العمل صعب ، لأن الفكر لا يستطيع الاستناد على مشابهات معروفة ولا على مفاهيم محسوسة من حياتنا اليومية .

٨ — **زمن النسبية العامة والكون المنتشر** . — إن مبدأ الزمن يزيد في التعقيد في كون يحتوي على كتل وتسارعات . فالمكان الزماني يصبح لا اقليديا (لا يتبع هندسة اقليدس) و صبح الكون ككل غير متوازن ولكنه محدود ومتناهي ، وحجمه في ازدياد مستمر . ويصبح الزمن الذي ُفصِل اصطناعياً من قبل المشاهد ذا ميزة جديدة وهي ان الظواهر البعيدة تصبح بطيئة نسبياً مع بعدها .

وهكذا أصبحت صورة الزمن والمكان القديمة تشبه لوحات الاقدمين المليئة بالتقلص والجمال في آن واحد ، في نظر الفيزيائي الحديث . واكون قد بلغت هدفي اذا اصبح لها نغم جديد عندك .

٣ من نيوتن الى النسبية

« الحادثة » événement في علم الفيزياء ، هي نتيجة تطابق مزدوج في « الزمــان » وفي « المكان » . كصدمة كرتين كانتا متجهتين لاحتلال نفس المكان في نفس اللحظة . أما الصدمة نفسها فانها تمتلك قيمة ذاتية ذلك ان جميع المشاهدين يقرون بوجود « أثر » effet للصدمة كتصدع الكرتين او تشتتها .

وما علم الفيزياء الا دراسة لحوادث تجري على هذا النمط ، وينتج من ذلك ان قياسات الاطوال والازمنة اساسيــة في جميع فروع الفيزياء . لنتفحص ميزاتها وخصائصها .

قياسات الزمن. — ملاحظة الوقت هي تدوين لمطابقة عقرب الساعة مــع احدى تقسيمات الميناء . اما قياس مدة ما فهو ملاحظة الوقت عند ظاهرة ما وعند نهايتها ، اي تدوين تطابقين على الميناء .

لنلق نظرة على علم الحيل التقليدي الذي أعد غاليليه مبدأه وأرسى نيوتن

قواعده ودفع بعيداً في تطويره . الزمن في هذا العلم مطلق ، فهو يجري على نمط واحد وقيمته كونية شاملة، بحيث تكفي ساعة واحدة لجميع المشاهدين؛ وهذا المفهوم يتطلب كما رأينا في الفصل الثاني وجود ارسالات فورية . وقد آمن نيوتن بامكانية ارسالات كهذه، وعلى هذا أقر في كتابه حول « المبادىء » بأن التجاذب يفعل فورياً من نجم الى اخرى . ويعتبر نيوتن انه لو انعدمت الشمس فجأة ، فان جاذبيتها تكف في الحال حتى اقصى الكون ، والنجوم في أبعاد هذا الكون تتأثر فيآن واحد بهذا الاختفاء . وهكذا برهن لابلاس بأن سرعة الجاذبية يجب ان تكون على اقل تقدير سبعة ملايين مرة اسرع من الضوء « اذا صح قانون نيوتن » . ويكون هذا الكلام باطلاً اذا كان افتراضاً غير مُحقق فيه : وهذا ما يحصل في « النظرية النسبية » العامة .

ولكننا لو نظرنا الى افضل قياسات للزمن ، وهي قياسات الفلكيين ، لوجدنا انها لا تحقق شروط الزمن المطلق . فالفلكيون اذا ارادوا مقارنة عمليات الرصد التي يقومون بها في نواحي الارض المختلفة ، يجدون انفسهم ملزمين بضبط ساعاتهم عن طريق أسرع الاشارات الممكنة أي الاشارات الهرتزية اللاسلكية التي تنتقل بسرعة الضوء (ذلك انها من طبيعة واحدة) اي ما يقارب من ٣٠٠٠٠٠ كلم في الثانية . ان بث الاشارات في الفضاء الأرضي هو في الواقع أمر صعب للغاية ويعلم الفلكيون في مرصد مون ويلسون بانهم على بعد ١٠٠٠٠ كلم مثلا عن برج إيفل . فتصلهم إشارة الظهر المرسلة من هذا البرج متأخرة $\frac{١}{٣}$ من الثانية ، وإذا دلت ساعاتهم عند استلام الاشارة الى الثانية عشرة ظهراً و ٠٫٠٣ من الثانية يعتبرون عندئذ بأن ضبطها حسن .

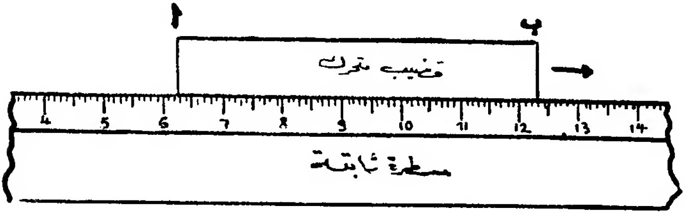
هذه الدقة كافية لحاجات العمل الذي يقومون به ، ولكن الضبط التام يستلزم المعرفة الدقيقة للوقت الذي استغرقته الاشارة في قطع المسافة . غير

ان الارض تحوم في الفضاء حول الشمس، بحيث انه في الوقت الذي تكون فيه الاشارة متجهــة نحو مرصد مون ولسون، يكون هذا الأخير هارباً مع الارض من طريقها بسرعة انطلاق الارض .

وهكذا يظهر لك كيف ان علم الحيل التقليدي يحتاج الى معرفة سرعة الارض في الفراغ وسرعة النور في الفراغ ان هو اراد معرفــة وقياس الزمن بدقة .

قياسات الاطوال . ـ اذا اردنا قياس طول قضيب (أ ب) ، فاننا نضعه بإزاء متر مرقم (الشكل رقم ٣) .

ثم تدون الأرقــام الموجودة عند طرفي القضيب (أ ، ب) . وإذا كان القضيب والمتر ساكنين ، فإن الصعوبات غير واردة . أمــا إذا كان القضيب يتحرك بموازاة المتر ، أو العكس ، فعندهــا لا يكون للقيــاس قيمة إلا إذا كان تدوين المطابقة في (أ و ب) قد حصل في آن واحــد . أما إذا كان القضيب قد تحرك بمحاذاة المتر مــا بين قراءة ترقيم (أ) وترقيم (ب) فإن هذه القراءة لا تعبّر مطلقاً عما هو صحيح .



شكل (٣)

يمتلــك مبدأ التواقت ، في علم الحيــــل التقليدي ، صبغة مطلقة بفضل الإرسالات الفورية . ويتبع ذلك كون قياس (أ ب) مطلقاً وذاتياً أي ثابتاً أياً كان المشاهد ، هذا الطول هو المسافة الواقعة على المتر بين (أ ، ب) في اللحظة التي يكون فيها الطرفان في (أ ، ب) في آن واحد .

ولكن هذه النتيجة نظرية بحتة. فالوقائع الحقيقية تختلف عن ذلك اختلافاً بيناً . فعالِم الفيزياء ، إذا أراد أن يقيس الأشياء المتحركة ، يصوّرها مع الأمتار في نفس المجال . ولكن الضوء لا ينتقل بسرعة فورية والشعاعان الصادران من (أ ، ب) لا يخرجان على العموم في آن واحد. إذن فالتواقت لا يتحقق في الصورة، ويجب إجراء حسابات تصحيحية لمعرفة الطول الحقيقي للشيء المتحرك . وفي هذه الحسابات تتدخل سرعة الضوء الآتي من مختلف الجهات في الفضاء .

الخلاصة . — يستحيل قياس أي طول أو أي زمن في الواقع قياساً دقيقاً تاماً بدون معرفة خصائص الضوء . فالضوء خاصة والموجات الكهرطيسية عامة تلعب دوراً وسطياً ضرورياً في كل عملية قياس فيزيائي . وسرعة الضوء أو هذه الموجات ليست لا نهائية . ولكن الصفة المطلقة للمكان وللزمن مرتبطة بوجود سرعات لا نهائية . فلا تمتلك القياسات الحقيقية إذن مثل هذه الصبغة : ذلك ان سرعة الضوء كبيرة جداً أمام السرعات الصغيرة العادية التي يراقبها الانسان . فالفروق لم تظهر مبكرة في العلم ، والقياسات كانت تقريبية فقط .

فكان على السرعات الكبيرة والقياسات الدقيقة أن تجعل الفيزياء تتناقض مع مطلقية علم الحيل التقليدي . وسوف نعود ونرى الظروف التي قامت فيها هذه الخلافات . ولكن الصفحات التي سبقت هذا المنطق الأولي حول قياساتنا الحقيقية للزمن والمكان كانت نقطة انطلاق اينشتاين وهي تحتوي فكرة النسبية .

أحد اوهام علم الحيل التقليدي .— وكان بعض المؤمنين بعلم الحيل يعتقدون دون شك ان قياساتهم للزمن وللمكان هي قياسات مطلقة في جميع الظروف . ونحن رأينا أن قياساً لمسافة (أ ب) مثلاً لا يكون مطلقاً إلا بشرط ان تتواقت مشاهدة (أ) ومشاهدة (ب) .

وأما إذا كانت الحادثتان (أ و ب) مختلفتين من حيث الزمن فان المسافة (أ ب) التي تفصلها تتغير تبعاً للمشاهد: وهذا يعني ان المسافة «نسبية». لنأخذ مثلاً يوضح هذا الكلام : لو أضأتُ نفس المصباح لمدة قصيرة في مكتبي مرة كل ٢٤ ساعة فان الحادثة (أ) والحادثة (ب) بالنسبة اليّ قد حدثتا في نفس المكان : فأستنتج بأن المسافة (أ ب) بين الحادثتين معدومة وتساوي صفراً . ولكن مشاهداً يقع في موضع الشمس يعلن أنْ بُعد الحادثين هو ٢,٥ مليون كلم. وهذه المسافة هي في الواقع ما تقطعه الأرض في ٢٤ ساعة في انطلاقها حول الشمس .

وهكذا يكون علم الحيل التقليدي يقر بنسبية المكان بشرط أن يكون بين الحادثتين فاصل زمني .

ولكنه على العكس من ذلك يقرر أن قياس الزمن مطلق في جميع الظروف: أي أن الفاصل الزمني بين حادثتين أو ب مطلق ولو كانت المسافة التي تفصلها كبيرة جداً .

أما نسبية اينشتاين فانها تقيم، بجعلها الفواصل الزمنية نسبية، أي متغيرة بدورها تبعاً لقياسات المسافات ، تماثلاً منطقياً بدون أن تحذف المميزات الخاصة للزمن .

مبدأ النسبية عند نيوتن . – النظام القصوري أو النظام الغاليلي في الفيزياء هو مجموعة مرجعية يصح فيها تطبيق مبدأ القصور . في نظام كهذا ، يحتفظ الجسم المعزول عن كل قوة بسكونه إذا كان ساكناً، وبحركة منتظمة مستقيمة إذا كان متحركاً .

وكل نظام يتحرك حركة انسحابية مستقيمة منتظمة بالنسبة إلى نظام غاليلي فهذا النظام غاليليٌ بدوره .

ولقد لاحظ نيوتن ان قوانين علم الحيل لا تتغير عند الانتقال من مرجع غاليلي إلى مرجع آخر غاليلي كذلك ، ذلك أن القوى في علم الحيل متناسبة

مع تغيرات السرعة أي التسارع (ق = ج ک) وان التسارعات تحتفظ بنفس القيم في جميع أنظمة غاليله .

وبالتالي استنتج نيوتن مبدأ نسبياً غاليلياً :

« ان قوانين علم الحيل واحدة في جميع الانظمة الغاليلية » .

ومعنى ذلك أنه من المستحيل استنتاج حركة نظام غاليلي بواسطة تجارب حيلية تجرى داخل هذا النظام .

ولكن هذه النتيجة لا تصح إلا إذا كان النظام غاليلياً ، لأن النظام إذا كان يدور حول نظام آخر، يكون كالقطار عندما يصل إلى منحنى، وعندها يستحيل أن لا نشعر بالحركة. وذلك من جراء تولّد قوى نابذة تغيّر القوانين داخل النظام المتحرك حركةً دائرية .

فالفيزيائي ، اذا وضع في حجرة مقفلة وكانت هذه الحجرة تدور حول محور كالألعاب التي نراها في الأعياد ، فإنه يستطيع اكتشاف هذا الدوران بواسطة تجارب . ذلك ان الدوران يبطل مبدأ القصور . وهذه هي حالة علماء فيزياء الأرض فهم جميعاً مع مختبراتهم ، كالطفل راكباً حصاناً خشبياً في اللعبة التي تدور في الأعياد ، يدورون معها بدون توقف دورة في كل ٢٤ ساعة . وهذا يدلل على أن الأرض ليست نظاماً غاليلياً . وتوجد فعلاً عدة تجارب تظهر هذا الدوران [نواس فوكو (١٨٥١) مثلاً أو البيكار الدائر ، أو ميل القذائف الى يمين مستوى القصف في النصف الأرضي الشمالي، أو أنبوب كونتون (١٩١٥) الخ ...] . ثم هناك العديد من الظواهر الطبيعية التي تشير الى هذا الدوران كتفلطح الكرة الأرضية عند خط الاستواء؛ وميل اتجاهات الرياح والتيارات المائية البحرية الى اليمين في النصف الكروي الشمالي للأرض؛ واتجاهات الزوابع ودورانها بعكس اتجاه إبرة الساعة في النصف الشمالي .

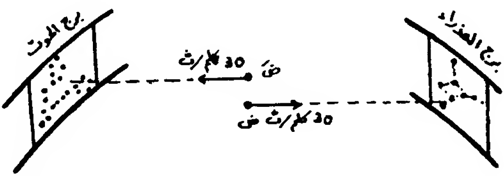
ولكننا سوف نهمل الآن هذا الدوران البطيء الذي تظهر آثاره واضحة، لندرس حركة أخرى للأرض تفوق هذه أهمية لعظم سرعتها ولعدم شعورنا

بها من ناحية أخرى .

انسحاب الأرض . — تنطلق الأرض في مدارهـا السنوي حول الشمس بسرعة تقرب من ٣٠ كلم في الثانية . وهذه السرعة كبيرة جـداً إذا اعتبرنا ان أسرع قذيفة أرضية لا تتعدى الكيلومتر الواحد في الثانية . وعلى الرغم من هذه السرعة الكبيرة فإن الأرض تستلزم سنة كاملة لتتم دورتهـا حول الشمس ، ولهذا فمن الممكن اعتبار هذه الحركة في مدة قصيرة ، عدة ساعات مثلاً أو حتى يوم كامل ، كحركة مستقيمة منتظمة ولهذا تدعى هذه الحركة انسحاباً . فالأرض في انسحابها إذن تمتلك خاصية النظام الغاليلي بالنسبة الى محاور تمرّ في مركز الشمس متجهة الى نجوم بعيدة جداً .

وبالتالي يمكن تطبيق مبدأ النسبية الغاليلية على حركة الأرض هـذه . فالتجارب الحيلية مهما كانت سريعة اذا أُجريت على سطح الأرض فإنها عاجزة عن اظهار هذه الحركة أو بيان وجودها .

والواقع يؤيد هذا القول ، فنحن لا نشعر بأي سقوط في الفضاء ، كما أن التجارب في المختبرات لا تحس بوجود هذا السقوط . ويظهر علم الحيـل في هـذا الموقف عـاجزاً عن تمييز النظـام الكوبرنيكي للأرض عن النظـام البطليموسي، حيث ان الأرض في الأول تدور حول الشمس وفي الثاني ساكنة في وسط الكون. لنأخذ الأرض في نقطتين متقابلتين في فلكها (الشكل ٤) .



شكل (٤)

في النقطة (ض) ، أي في أول كانون الأول (يناير) مثـــلاً ، تكون سرعتها ر = ٣٠ كلم / ث ويكون اتجاهها نحو برج العذراء . وفي النقطة (ضَ) ، أي في أول تموز (يوليو) ، تكون سرعتهـــا رَ = ٣٠ كلم / ث واتجاهها نحو برج الحوت المقابل لبرج العذراء في قبة السماء . إذن في خلال ستة أشهر يكون الفيزيائيون في نظامـين مختلفين سرعتها ٣٠ كلم / ث في كل جهة ، أي سرعة نسبية تساوي ٦٠ كلم / ث . هـذا الفرق الهائل لا وجود له في عمليات الرصد الأرضية التي تجري بـين كانون الثاني وتموز . ولا تحمل قوانين علم الحيل أية إشارة إلى هذا الانسحاب الجنوني للأرض . ودوران الأرض حول نفسها لا يزيد في أية بقعة من سطح الأرض عن نصف كلم / ث ، ومع ذلك نحن نشعر به (حركة لاغاليليه) . هذه النتائج منطقية ولا تدهشنا أبداً : ذلك أن الصفحات السابقة قد مهدت لها .

ولكن العلماء كانوا يأملون إظهـار حركة انسحاب الأرض حول الشمس بتجارب بصرية . وكان اعتقادهم جازمـاً بأن مبدأ النسبية الغاليلي يصح فيما يخص علم الحيل ولا يصح فيما يخص علم البصر . وهنا بدأت المشاكل .

فلنحدد ميزات الضوء، قبل الوصول الى الأزمة، لأنه يلعب دوراً أولياً .

سرعة الضوء ثابتة في الفراغ .— الضوء يقطع الفراغ بسرعة ٢٩٩٧٩٢ كلم في الثانية (بتقريب ٥و. كلم / ث) هذه السرعة الهائلة يرمز اليها بحرف (ع) وفي الحسابات العادية نأخـذ ع = ٣٠٠٠٠٠ كلم / ث وهذه السرعـة لا تتأثر بحركة المصدر الضوئي: لم يشك أبداً في هذه الميزة قبل النسبية .

ولنلاحظ أن سرعة الأشعـة الضوئية واحدة بالنسبة إلى جميع الألوان . ولو لم يكن هذا صحيحاً لما شوهد أدنى حد لإضاءة نجم عند كسوفه في آن واحد بالنسبة إلى جميع الأشعة والألوان .

ولو كانت سرعـة الضوء تتأثر بحركة المنبع الضوئي المولد لهذا الضوء ،

لكان من الممكن معرفة ذلك من النجوم المزدوجة التي ينبغي في هذه الحالة أن يكون لها مظهر معين . وقد برهنت جميع تجارب المختبرات ان هـذا المظهر المعين ليس له وجود (تيرينغ ، كوربينو ، واطاغِن) . فما نجاح ميزان التراكيب (مدخال) Interféromètre الذي صنعه ميكلسون في عملية قياس قطر النجوم العملاقة إلا استناداً إلى كون حركة المصدر الضوئي بلا تأثير على هذه السرعة . وأخيراً نجد أن أبحاث لورنتز النظرية حول علم بصر الأجسام المتحركة تنفي نفياً قاطعاً الشك في تجانس انتشار الضوء في جميع الاتجاهات .

والضوء لا تجره كذلك الأجسام المتحركة التي يصطدم بها . — هل تؤثر الأجسام المتحركة في انتشار الموجات الضوئية في جوارها ؟ إن الدراسات حول تشوش رؤية النجوم المتكدسة منذ قرنين تظهر أن الأرض لا تؤثر في الموجات عند وصولها . وهذا برهان آخر : يطلق شعاع ضوئي بحيث يكون مماساً لدولاب (عجلة) ساكن ، ثم يدار هذا الدولاب بسرعة كبيرة ، فلا يلاحظ أي تغيير على الضوء . وأخيراً ، برهن ميكلسون وغال في شيكاغو عام ١٩٢٥ على دوران الأرض حول نفسها (الذي هو حركة بطيئة) بتجارب كهرطيسية دلت أن هذه الموجات لا تتأثر بجرّ الأرض لها .

يخترق الضوء الفراغ بسرعة ثابتة (ع) غير متأثر بالظروف التي يتولد منها ولا بالظروف التي يستقبل بها ، وعلى ذلك كان يعتمد الفيزيائيون حين أرادوا البرهان في ظروف مناسبة إلى حد بعيد، على حركة انسحاب الأرض حول الشمس .

فالشعاع الضوئي المنطلق في اتجاه حركة الأرض يلحق بها بسرعة (ع — ر) . والشعاع المنطلق في الاتجاه المعاكس يقترب منها بسرعة (ع + ر) . وعلى هذا ينتظر علم الحيل وجود سرعة بين سرعتي الشعاعين النسبية تساوي (٢ ر) . وهذه نتيجة حتمية لقانون جمع السرعات في

هذا العلم .

ذلك هو الفارق ، (٢ ر) ، الذي أمل الفيزيائيون العثور عليه ، وخاصة باستخدام علم البصر الذي يسمح باستخدام التراكب الضوئي في العثور على فروق مهما كانت ضئيلة . وهذه التجارب هي أدق ما يعرفه الانسان أي ان التراكب يسمح بإيجاد فروق تبلغ جزءاً من مليار ! أي انه بالامكان معرفة فرق يساوي ٠,٣٠ م في مسافة تساوي ٣٠٠,٠٠٠ كلم . ولكن الفروق المنتظرة لم تكن ضئيلة فانسحاب الأرض يعطي فرقاً في مدى ٦ أشهر يساوي ٦٠ كلم في الثانية الواحدة .

ولم تكن تهدف تجربة ميكلسون الشهيرة ، التي سوف نصفها الآن، سوى الى إظهار حركة انسحاب الأرض بفضل ميزات الضوء . ولكن إمكانية العثور على سرعات أكبر من سرعة انسحاب الأرض لم تكن مستبعدة ، فنحن نعرف ان السديم الذي ننتسب اليه يتحرك حركة دائرة حول مركزه وعلى هذا فان نظامنا الشمسي يتحرك باتجاه النجم (سيفيه) بمعدل ٢٦٠ كلم في الثانية . فإذا كنا لا نزال نعتقد بأن « لعبارة حركة الأرض في الفضاء » معنىً فيجب أن ننتظر من تجربة ميكلسون أن تظهر لنا حتى هذه الحركة .

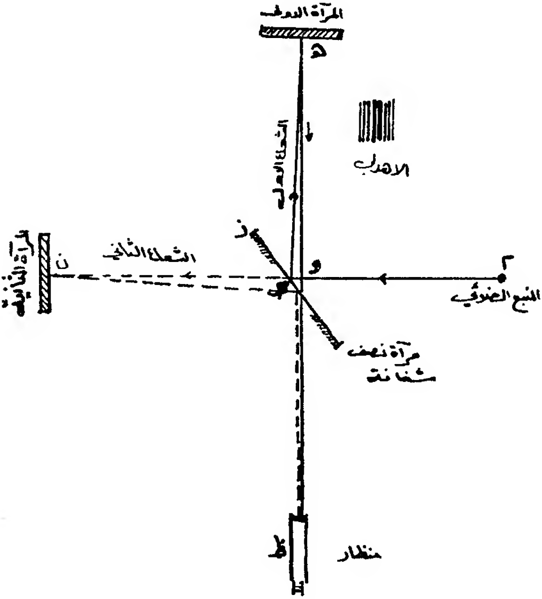
ثم ان السديم يتحرك مع مجموعته المجاورة له، بالنسبة الى السدم الأخرى، بسرعة ما زالت مجهولة ولكنها كبيرة بدون شك ، ولم يكن على التجربة ان تدل على العشرات ، بل على المئات والالوف من الكيلومترات في الثانية .

والنتيجة الوحيدة التي لم يفكروا بها هي الصفر .

تجربة ميكلسون

الجهاز في وضع أفقي (شكل ٥) . تخرج من المنبع الضوئي (م) حزمة أفقية بسيطة ذات لون واحد . فتسقط على زجاجة نصف شفّافة (ز) تحت زاوية سقوط تساوي ٤٥° وقد طلي الوجه الثاني لهذه الزجاجة بقليل من الفضة بحيث تبقى شفافة وتصبح عاكسة في آن واحد . جزء من هذه الحزمة

الضوئية ينعكس نحو مرآة (ه) « الشعاع الأول » بينما يخترقها الجزء الآخر نحو مرآة ثانية (ن) « الشعاع الثاني » بعد الانعكاس الرأسي في (ه) و (ن) ترجع الشعاعات نحو الزجاجة (ز) . فيخترقها الشعاع الأول جزئياً ويصل الى المنظار (ظ) ، وكذلك الشعاع الثاني يصل إلى (ز) فينعكس جزئياً ويتجه نحو المنظار أيضاً .



شكل ٥ — ٦ مخطط تجربة ميكلسون

في سبيل وضوح التجربة رسمنا الشعاع في الذهاب مختلفاً عن الشعاع في الإياب .

إذن فالأشعة الخارجة من (م) قد تفرقت ثم اجتمعت أخيراً في المنظار بعد أن قطعت الطريق (م) و (ه) و (ظ) والطريق (م) و (ن) و (ظ) : فتولد

هنالك أهداب تراكب مضيئة ومعتمة على التتابع (شكل ٦) .

وتؤلف المرآتان (هـ ، ن) جزءاً من ذراعي الجهاز المتعامدين . ويضبط وضع المرآتين بحيث تكون الهدبة الوسطى للتراكب في وسط شبكة المنظار. وهذا العمل يضمن لنا تساوي الأزمنة في قطع المسافتين عند الشعاعين الأول والثاني . وتشكل مراقبة الأهداب طريقة رائعة الدقة لمعرفة تساوي زمن الذهاب والإياب حسب الذراع (و هـ) وحسب الذراع العامودي عليه (ون) .

وبهذه الطريقة نحقق بدقة كبيرة تساوي الأزمنة .

فإذا لم تكن سرعة الضوء واحدة في الاتجاهين فإن الذراعين يكونا غير متساويين ؛ أي إذا كانت سرعة الضوء أكبر حسب الاتجاه (و هـ) مثلاً فانه يجب أن يكون أطول من الذراع (و ن) .

لندير الجهاز بمقدار ٩٠ درجة بحيث يأخذ الذراع القصير محل الذراع الأطول . في هذه الحالة سوف تفسد مساواة الأزمنة ، وعندها يجب أن نشاهد الهدبة الوسطى تترك وسط الشبكة وتنتقل مع مجموعة الاهداب الى إحدى جهتي الشبكة .

ووقع الشيء المستبعد ، الشيء المستحيل : لم يحصل أي انتقال للأهداب ، جرت الأحداث وكأن الأرض ثابتة لم تتزحزح .

وإذا ما أدير الجهاز ببطء بمقدار دورة كاملة تبين أن الضوء يحتفظ بنفس السرعة في جميع الاتجاهات وفي جميع فصول السنة على السواء . والضوء يمتلك بالنسبة للمشاهد نفس السرعة في الاتجاهات .

وهبّ الفيزيائيون يحسّنون الجهاز ، ويدققون الضبط ويغيرون الأمكنة ويجرون التجارب في رؤوس الجبال ، ولكن بدون طائل وبقيت النتيجة صفراً .

فكان الخلاف بين مميزات الضوء وعلم الحيل التقليدي ونتيجة التجربة ،

صارماً ، غير مفهوم ، وغير منطقي .

حاول الفيزيائيون ، وقد داخلهم الشك والريب طيلة ٢٥ عاماً ، مداواة هذا الفشل . فراجعوا ميزات الضوء ولكنها صمدت أمام كل تغيير . وعندها اخترعوا ميزة فريدة جديدة للمادة وسموهـا ظاهرة تقلص فيتز جيرالد ، ولورنتز . ومعنى هذا أن ذراعي جهاز ميكلسون قد تغير طولها عندما تغير اتجاهها ! هذا التفسير الذي صنع خصيصاً لشرح فشل ميكلسون ، لا يكفي لشرح الظواهر الكهرطيسية الأخرى التي تتدخل فيها حركة انسحاب .

وفي هذه الآونة(١٩٠٥) أتهم اينشتاين علم الحيل التقليدي وحمله المسؤولية ونقض مبدأ الزمن المطلق . فقد اكتشف لماذا تعارض الطبيعة اعطاء جواب على سؤال مطروح : فالسؤال عديم المعنى بالنسبة اليهـا والخلاف ناشيء عن الأفكار الغالطة التي الصقناها بالزمان وبالمكان .

تجربة ميكلسون تتوافق مع أسس الكهرطيس (ع ثابتة) وبمبدأ النسبية المعمم حتى على الكهرطيس (استحالة برهـان انسحاب الأرض حتى ولو استخدم الضوء) . ولكنها لا تتوافق مع عـلم الحيل القديم (جمع وطرح السرعات) .

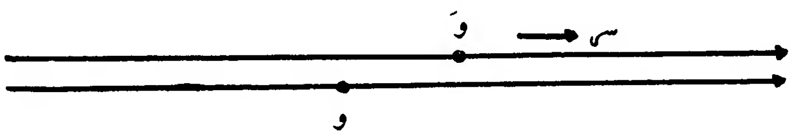
أليس من الممكن إعادة بناء علم الحيل بعد ترك الانتشار اللحظي الوهمي والزمن المطلق الناتج عنه ؟ لا علم للطبيعـة بأي زمن ومكان تملكها ويتميزان بصفات مطلقة . فالزمن والمكان لا يعنيان سوى ما نشعر به عنها وما نقيسه منها : وكل منا يعمل لنفسه مقطعـاً اصطناعياً في هذه الكثرة ذات الأبعـاد الأربعة التي ندعوها الكون ، هذا المقطع يؤلف زمانه ومكانه اللذين يشكلان ميزات ذاتية لهذا المقطع فقط ، ومن ميزات هـذا المقطع ان لا يجيب على تساؤل ميكلسون .

وقد أخذ اينشتاين بمبـدأ الزمن الذي ينطبق على التجربـة وعلى الانتشار المتجانس للضوء وللكهرطيس . وقـد سمح هذا الزمن النسبي بقيام عـلم حيل

جديد لا يفسر تجربة ميكلسون فحسب بل عدداً كبيراً من النتائج المعروفة أو التي اكتشفت بفضل قيامه .

مظاهر النسبية

دساتير لورنتز والزمن النسبي . — لنفرض محورين متوازيين (و س ، وَ سَ) (شكل ٧) .



شكل (٧)

المحور (وَ سَ) متحرك بالنسبة الى (و.س) بسرعة ثابتة (ر) . ونحسب بأن الزمن قد ابتدأ من تطابق نقطتي الأصل (و وَ) . ولنفرض (س ، ز) احداثيات المكان والزمان المقاسة في النظام (و س) لحادثة ما . المشاهدون في النظام (وَ سَ) يعطون الحادثة نفسها الاحداثيات (سَ ، زَ) التي تعطيها دساتير لورنتز :

$$(١) \quad \text{سَ} = \frac{\text{س} - \text{س ز}}{\sqrt{١ - \frac{\text{ر}^{٢}}{\text{ع}^{٢}}}} \qquad (٢) \quad \text{زَ} = \frac{\text{ز} - \frac{\text{س ر}}{\text{ع}^{٢}}}{\sqrt{١ - \frac{\text{ز}^{٢}}{\text{ع}^{٢}}}}$$

دساتير لورنتز هذه تحل تناقضات الفيزياء. وفي الملحق تجد طريقة اقامتها (ملاحظة ٢) . لنفرض أولاً ان السرعة النسبية (ر) ضعيفة أمام سرعة الضوء، في هذه الحالة يمكن إهمال النسب $\frac{\text{ر}^{٢}}{\text{ع}^{٢}}$ ، $\frac{\text{ر}}{\text{ع}^{٢}}$ فنجد :

سَ = س – ر ز ؛ زَ = ز وهي ليست سوى دساتير علم الحيل التقليدي .
اذن طالما السرعات ضئيلة ، لا يوجد فرق بين المبادىء القديمة والمبادىء الجديدة . فعلم الحيل القديم تحتويه النسبية (والعكس ليس صحيحاً) كحالة خاصة حيث (ر) صغيرة. فعِظم سرعة الضوء تجعلنا نهمل السرعات الصغيرة امام السرعات الكبيرة . ففي النسبية مثلا السرعة التي تساوي ١٠٠٠ كلم في الثانية أي أسرع من أية قذيفة بألف مرة تعتبر سرعة ضئيلة . ولهذا السبب لا نستخدم في عملياتنا العادية دساتير النسبية بل من السخف اعتمادها .

ولكننا إذا نظرنا الى الأثر الفلسفي لدساتير لورنتز فإن كل شيء يتغير الزمن والمكان في هذه الدساتير ملتحمان ، بحيث لم يبق مبـــدأ الزمن ذلك المبدأ الخالص، بل أن قياسه يتغير بالحركة النسبية لان (ر) تدخل في العبارة (٢) ، ومن الممكن التأكد بكامل البساطة أن الآنية قـــد فقدت كل معنى ذاتي .

فالحادثتان الآنيتان بالنسبة الى (و) ، أي اذا كانت ز = صفر ، ليستـا كذلك بالنسبة إلى (وَ) لأن (ذَ) تحسب بالعبارة (٢) التي تخالف الصفر .

ولكي تكون الآنية حقيقة بالنسبة الى (وَ) يجب في آن واحد ان يكون ذ = صفر ، س = صفر ولكن في هذه الحالة تكون الحادثتان حادثة واحدة (تطابق في الزمن وفي المكان) .

رحالة لانجفان . — الزمن الذي أُدخل الى العلم على هذه الصورة ، هو الزمن النسبي الذي يتميز بخواص ذات مظهر متناقض يصدم عاداتنا الذهنية بعنف لا مثيل له . وقد اراد بول لانجفان إظهار ما لهذه المبادىء من جدة ، وبيان ذلك بشكل محسوس للرجل العادي ، وخاصة ما يحصل في الفـيزياء عندما تصبح السرعة كبيرة جداً ، فتصور رحالة يغادر الارض بسرعة تقل عن سرعة الضوء بمقدار يقـل عن $\frac{١}{٢٠٠٠٠}$ من سرعة الضوء . فيبتعد طيلة

سنة كاملة . ثم يعود بعد سنتين من الزمن الذي قاسه لنفسه بواسطة عدادات الزمن الموجودة في آلته. وعند هبوطه يجد الارض وقد مضى عليها قرنان من الزمن وتسكنها أجيال لا يعرفها فيكون بذلك قد قفز إلى المستقبل بدون امكانية للرجوع الى الوراء .

بالنسبة الى المسافر وَ (سَ = صفر) يكون الزمن (زَ) الذي عاشه منذ مغادرة الارض تبعاً الى الزمن (زَ) من المحور (و س) : زَ = $\sqrt{١ - \frac{ر^٢}{ع^٢}}$.ز:

هذه هي ظاهرة تقلص الزمن الخاص الغريبة التي يَفرضها الدستور (٢) .

وقد قوبل رحالة لانجفان بمعارضات وبلـوم لا يستحقها ..

. هوجمت النتيجة السابقة استناداً على التعاكس . فالسرعة (ر) هي سرعة نسبية ، واذا كان (وَ) يبتعد عن (و) ، فبالعكس (و) يبتعد عن (وَ) بنفس السرعة. يمكن ان نقول عن (و) ما قيل عن (وَ) وتكون الارض قد بقيت شابة ويكون الرحالة قد شاخ . ويحصل تناقض بين النتيجتين . في الواقع ان هـذا الاعتراض لا قيمة له . فالفرد المنتسب الى (س) الذي يقفز الى (سَ) يتلقى تسارعاً عنيفاً وتسارعاً آخراً عند عملية الرجوع وآخراً أيضاً عند رجوعه الى أهله؛ فهو وحده الذي يتعرض لخطر الموت. بينما يبقى المحور و(س) غاليلياً.

الاعتراض الثاني : ألا تدل غرابة النتيجـــة على ان الزمن الذي يعيشه الانسان لا علاقة له مع المعامل المتبدل (ز) الذي تستخدمه النسبية ؟

ان المعامل (ز) الذي تستخدمه النسبية ليس وهماً : بل هو زمن مقاس ؛ والوهم حقاً هو الآخر ، الزمن الذي يجري بانتظام . كلما سئلت الطبيعـــة أجابت : الزمن الواقعي هو زمن انيشتـــاين وليس الآخر . وجسمنا ينتسب الى العالم بالفيزياء والكيمياء ، فهل تتهرب إيقاعاته من الطبيعـــة ؟ إذا كان

بإمكانها إبطاء عمل الساعة ، ألا تستطيع ان تبطيء ضربات القلب؟ والجواهر والكهارب التي تسمع بأفضل برهان وتحقيق لعلم القوى الجديد ، هل تتوقف فجأة عن طاعته لا لسبب إلا لأنها تؤلف جزء من خلية في جسم بشري ؟

من السهل حساب الربح الذي يحققه رجل يمتلك الوسائل الحديثة من الرحلة . فهذا المسافر الذي يسير بسرعة ١٠٠٠ كلم في الساعة لو سافر طيلة ٦٠ عاماً فان مربحه يكون جزءاً من الف من الثانية . فالزمن ليس شيئاً كالمسطرة يمكن أن نحمله معنا . فطول المسطرة الحقيقي (اذا اعتبرنا ان طولها محدد تماماً) هو القياس الذي يقوم به مشاهد ثابت بالنسبة للمسطرة .

أما بالنسبة للزمن فإن النتائج أقل بساطة . لأن كل مشاهد يعتبر الزمن الحقيقي ، الزمن الذي يراه على ساعته هو . ويستطيع المشاهدون المتحركون بالنسبة الى بعضهم البعض أن يحسبوا ، بين حادثتين ، أزماناً خاصة مختلفة حقيقة بالنسبة الى كل منهم . فالأزمان الخاصة متعددة . إذا فرض أن أحد هذه الأزمنة أفضل من الأخرى فذلك معناه الرجوع الى الزمن المطلق . إن أكثر المعارضات للنسبية (وخاصة الرسائل التي وصلتني منذ ظهور الطبعة الأولى) تجد جذورها عند هذا الخطأ .

المكان النسبي . — قبل ولادة النسبية بـ١٠ سنوات ، ولأجل تفسير فشل تجربة ميكلسون افترض فيتزجيرالد ولورنتز أن كل شيء مادي يتقلص في حركته . فالمسطرة التي طولها (ط) والتي تتحرك في الفضاء بسرعة (ر) ، ينقص طولها إلى الحد: ط: $\sqrt{١ - \frac{ر^٢}{ع^٢}}$

هذا التقلص الواقعي الذي يصيب جميع الأشياء مهما كانت طبيعتها وصلابتها بنفس النقص ، كان يظهر غريباً جداً : فعمود من الغاز يتقلص تماماً كما يتقلص عمود من الفولاذ .

تفرض النسبية بدورها تقلصاً ، إلا أنه مخالف تماماً للسابق . فهي ميزة

طولية للفضاء . فالتقلص ليس مطلقاً بل انه يمثل كيفية رؤية طرف المسطرة من قبل مشاهدين متحركين : طول المسطرة هو المسافة بين وضعي طرفيها في آن واحد . وبما ان المشاهدَيْن المتحرك أحدهما بالنسبة للآخر يختلفان عند معنى التواقت فهما سوف يجدان طولين مختلفين للمسطرة . وهــذا التقلص عكسي ومتبادل وكل مشاهد يتهم المشاهــد الآخر بأن المتر الذي يحمله أقصر من متره هو : فالشيء لم يتبدل بل ان المشاهدين على خــلاف فيما يخص وضع طرفي المسطرة . كل مشاهد يعمل لنفسه مقطعاً في الكون يؤلف زمنــه هو ومكانه . إذن فما هو القياس الحقيقي ؟ لا تتشكك أيها القــارىء العزيز : القياس الحقيقي هو الذي يقوم به مشاهد ثابت بالنسبــة إلى الشيء . عندمــا تحمل المسطرة فإن قياسك هو الأفضل .

وفي تجربة ميكلسون ، إنَّ الجهاز ثابت بالنسبة الى المشاهد فلا يصيبها أي تقلص في أي جهة من الجهات. وبما أن انتشار الضوء متجانس فليس من أمل في الحصول على فرق ولا في بيان اتجاه مفضل على الاتجاهات الأخرى .

النسبية والسببية — الفاصلة الزمنية . — لنأخذ عدداً من المشاهدين (١) (٢) (٣) (٤) الخ ... يقيس كل منهم في نظامه ، الزمن (ز) والمسافة المكانية (ط) الفاصلة بين حادثتين (أ و ب) . ستكون النتائج مختلفة :

(ز ، ط) للمشاهد (١)

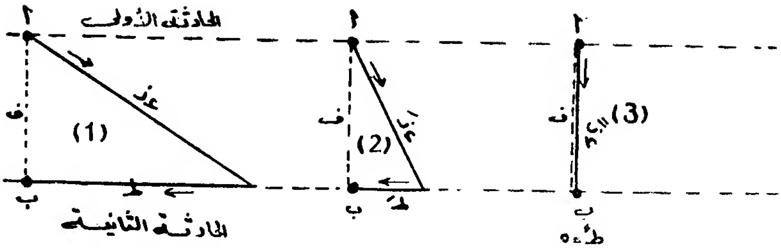
(زَ ، طَ) » (٢)

(زً ، طً) » (٣)

الخ ...

حسب نظرية النسبية ، يمكن التوصل الى ثابت خــاص بزَوج الحوادث (أ ب) ، وذلك بدمج قياس (ز) و (ط) عند مشاهد من المشاهدين . وهذا الثابت هو الفاصلة الزمنية (ف) التي يعطيها الدستور :

(٣) $ف^{٢} = ع^{٢} ز^{٢} - ط^{٢}$ (حيث (ع) هي سرعة الضوء)



شكل ٨ – زوج في الزمن (ع ز > ط) بالنسبة الى ثلاثة مشاهدين

يمثل هذا المخطط المظاهر التي قد تكون للحادثتين (أ و ب) في الزمن وفي المكان ، بالنسبةالى عدة مشاهدين . (ع ز) هو وتر مثلث قائم حيث يكون فيه ضلعا القائمة المسافة المكانية (ط) والفاصلة النسبية (ف) .

ترتيب الحوادث (أ ب) لا يتغير بحيث تبقى (أ) الحادثة الاولى .

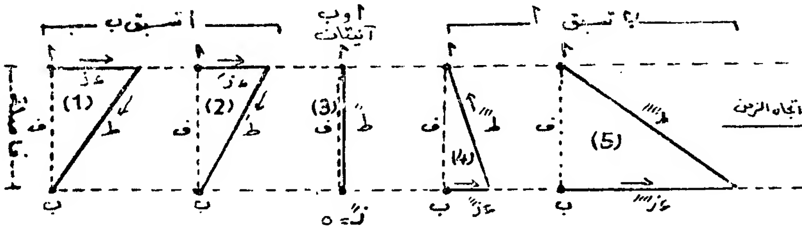
الزمن الفاصل بين (أ)و(ب) يكون أقصر كلما كانت المسافة المكانية (ط) أصغر.الزمن الادني (زً) الذي تقيسه (٣) يتناسب مع طً = صفر وذلك يعني تطابق (أ،ب) في الزمن وفي المكان.

هذه الميزة هي نتيجة مباشرة لدساتير لورنتز، ويستطيع المبتدىء في الجبر أن يلاحظ من الدستورين (١) و(٢) أن (ع٢ زَ٢ – سَ٢ = ع٢ ز٢ – س٢). هذا التركيب لقياسات الزمن والمكان ثابت مهما كان المشاهد .

في الشكل ٨ نرى كيف نرسم ف بواسطة مثلث قائم (نظرية بيتاغور) وهي ثابتة لجميع المشاهدين،فالقياسات (زَ،طَ) للمشاهد (٢) هي غير قياسات (ز، ط) للمشاهد (١) ولكن الضلع (ف) واحد بالنسبة اليها . والفاصلة الزمنية (ف) هي النموذج الوحيد لارتباط القياسات الفضائية والزمنية والتي تمتلك بذاتها قيمة مطلقة (مينكوفسكي) . رها هي ميزات الحادثتين(أ و ب) في الحالات المختلفة التي قد تحصل :

١ – المسافة (ع ز) أكبر من (ط).– إذا كان مسير الضوء (ع ز) في الزمن (ز) الذي يفصل بين الحادثتين بالنسبة الى المشاهد الأول (١) أكبر من المسافة

المكانية (ط) فإن ذلـك هو نفسه بالنسبة إلى جميـع المشاهدين . إذن (ع زَ) أكبر من (طَ) ، ولكن يمكن إيجاد نظـام تكون فيه ط = صفر ، أي أن الحادثتين تظهران في محل واحـــد . وعندها تكون قيمة الزمن (زً) الفاصل بينهما دنياً . وتتابع (أ ب) ثابت في الزمن ومن الممكن أن يكون (أ) سبباً لـ (ب) . وهذا ما يحصل في حياتنا العادية اليومية وذلك من عظم المقـدار (ع): فإذا كان الفرق بين(أ) و(ب) ثانية واحدة فان (ع ز) = ٣٠٠٠٠٠ كلم. ولكن الأبعاد التي يشاهدهـا الانسان العادي هي أقل من كيلومتر واحد ، إذن (ع ز) أكبر بكثير من (ط) . ويتفق البشر على ترتيب ظهور الحوادث ولهذا استندوا إلى الزمن ، عبْر السنين ، كقيمة مطلقة .



– شكل ٩ – حادثتان في المكان (ع ز أقل من ط) بالنسبة الى خمس مشاهدين عندما تكون (ع ز) أقل من (ط) يكون الوترهو (ط) .

المسافة المكانية (ط) بين (أ و ب) تكون أقصر كلما كانت (ز) أصغر . وتكون دنيـا ومساوية لـ (ف) عندما تكون ز = صفر (المشاهد ١) بالنسبة الى هذا المشاهد (أ و ب) آنيتان وليستا كذلك بالنسبة الى أي مشاهد آخر .

ترتيب تتابع الحوادث يختلف باختلاف المشاهد فإذا فرض أن الزمن يجري من اليسار الى اليمين فإن المشاهدان (١ ، ٢) يريـان (أ) قبل (ب) ، والمشاهدان (٤ ، ٥) يريان (ب) قبل (أ) .

٢ً– المسافة (ع ز) أصغر من (ط).– إذا اعتبرنا ذلك بالنسبة الى مشاهد ما سيكون ذلك نفسه بالنسبة الىجميع المشاهدين. ويظهر هذا في الشكل ٩ : وهنـا أيضاً تكون الفاصلة الزمنية (ف) ثابتة بالنسبة الى المشاهدين الخمسة .

ولكن هذه المرة أصبحت المسافة المكانيــة (ط) وتر المثلث القائم . ويكون عامل الاخبار ، أي الضوء وهو أسرع عامل للأخبار ، عاجزاً عن الوصول من (أ) الى (ب) وتكون الحــادثتان (أ و ب) مستقلتين عن بعضها . يمكن أن تصبح (ز) لبعض المشاهدين صفراً : فتصبح عنـــده الحادثتان (أ و ب) آنيتين والمسافة المكانيــة (طَ) دنيا . ولا يمكن أن تصبح (ط) بالنسبة الى أي مشاهد صفراً . فالحادثتان (أ و ب) مفصولتان مكانياً بالضرورة . لكن ترتيب تتابعهما يمكن أن يتغير ، أي أنه يمكن إيجاد مشاهد يرى (١) —(٢) شكل (٩) ومشاهد يرى (ب) قبل (أ) .

ويعبر عن كل هذا رسم بياني لمنكوفسكي ، ملخصاً علـم الحركة الجديد ، تراه في نهاية الكتاب .

---

(١) سوف نهمل كون (ف٢) سالبة حسب الدستور (٣) ، الأمر الذي قد يضايق كثيراً القارىء غير الرياضي .

٤ خصوبة النسبية الخاصة الرائعة

التجارب الأرضية حول انسحاب الأرض . — ان تجربة ميكلسون هي حجر الأساس الأول للنسبية ، وتعد قيمـــة هذه التجربة كبيرة لشدة دقتهـا .

وترغمنا المحاولات، الدقيقة للغاية، التي قام بها «كندي» في مون ويلسون، و«جوس» في إيانا، و«همّر» في إيداهو، بعد تجربة ميكلسون الأولى في الخمسين عام التي تلتها، ترغمنا على الإعتراف بالنتيجة السلبية ، رغم الاحتجاجات التي أعلنت أن شروط التجربة لم تكن موافقة .

غير أنه من السخف الاعتقاد بأن تجربة ميكلسون هي القـاعدة الوحيدة التي ترتكز عليها النسبية . وتشكل كل تجربة ضوئية او كهرطيسية دليلاً على النسبية ، ذلك أن هذين الفصلين من الفيزياء قد افترضا منذ البدء ثبـات سرعة الضوء فيالفراغ. وهما متناقضان مع علم الحيل بالرغم من ان ظهور هذا التناقض لم يكن مبكراً . وكل الاستنتاجات الدائرة حولها تؤيد النسبيـة سلفاً .

ثم ان تجارب عديدة ، تختلف كل الاختلاف عن تجربة ميكلسون ، كان بامكانها ان تلعب الدور الأول في توجيه نظر الفيزيائيين، إذ انها ترفض جميعها، ان تُظهر انسحاب الأرض حول الشمس . وهذه التجارب هي :

– تجربة رالاي وبراس (١٩٠٢ – ١٩٠٤) الخاصة بالانكسار المزدوج للضوء .

– تجربة تروتون ونوبل (١٩٠٥) الخاصة بالمكشفات الكهربائية .

– تجربة طوماشيك (١٩٢٥) في جبل يونغ فراو (٢٥٠٠ متر) على نفس المبدأ .

– تجربة تروتون ورانكين (١٩٠٨) الخاصة بالتوصيل الكربائي .

هذا وكان من الممكن لأدق هذه التجارب ان تُظهر سرعة لا تتعدى الكيلومتر الواحد في الثانية . وكان من الممكن لنتيجتها السلبية ان تُظهر افلاس علم الحيل التقليدي .

جمع السرعات . – تجمع السرعات في علم الحيل التقليدي . هذا يعني انه لو أخذنا قطاراً سرعته ر = ١٠٠ كلم في الساعة ولو أخذنا راكباً في هذا القطار يمشي في ممره نحو القاطرة بسرعة ر = ٥ كلم في الساعة ، فتكون سرعة ر = بالنسبة للأرض ١٠٥ كلم في الساعة .

(٤) $\boxed{ر'' = ر + ر'}$ ر ، ر'' تحسبان نسبة الى الأرض
ر' تحسب في القطار نسبة الى القطار

أما في النسبية المحدودة فإن الدستور يختلف عن السابق وهو أكثر تعقيداً .

الدستور النسبي :

$$\bar{ر} = \frac{ر + \acute{ر}}{1 + \frac{ر\,\acute{ر}}{ع^2}}$$

حيث (ع) هي سرعة الضوء

في المثال السابق يكون الحدّ $\frac{ر\,\acute{ر}}{ع^2}$ صغيراً لدرجة انه يهمل تماماً ، ولا يعطي الدستور (٥) نتيجة أفضل من نتيجة الدستور (٤) .

فالمسافر هذا لا يصلح كمثال للمفاضلة بين الدستورين ، لأنه بطيء . والدستوران متساويان بالنسبة له ، ويستحسن عندها الاحتفاظ بالأول لسهولته وبساطته .

ولكن المسائل ليست كلها على هذا المنوال . لنستبدل المسافر بشعاع مصباحه الجيبي ، الذي ينتشر في اتجاه القاطرة بسرعة رَ = ع . فبما ان سرعة القطار ١٠٠ كلم في الساعة تكون سرعة الضوء حسب الدستور (٤) : رّ=١٠٠+ع .

ولكننا نعرف الآن جيداً ان التجربة تنكر هذه النتيجة . ويحتفظ الشعاع الضوئي بسرعته رّ=ع ، بالنسبة الى الأرض . ولكن الدستور رقم (٥) يعطي بسرعة رّ=ع . فلنسرع بالقول بأنه يجب ان لا نكون ساذجين مندهشين من ذلك ، لقد وُضع هذا الدستور على هذه الصيغة خصيصاً حتى تبقى سرعة الضوء ثابتة .

ولكن ظواهر ، مختلفة الطبيعة ، تختبر الدستورين وتفضل احدهما على الآخر .

تجربة فيزو . — في عام ١٨٥١ كان فيزو يدرس سرعة انتشار الضوء في مجرى مائي وذلك بتجربة شهيرة. لكي نبسّط الاعداد نفترض ان السائل هو البنزين الذي يقطعه الضوء بسرعة ٠٠٠ ٢٠٠ كلم في الثانيـة . فاذا فرض ان البنزين يجري في الانبوب بسرعة ٥٠ كلم في الثانية ، فان علم الحيل التقليدي يتنبأ بأن سرعة الضوء ستكون ٠٥٠ ٢٠٠ كلم في الثانية بالنسبة الى المشاهد. ولكن التجربة أعلنت عن ٢٠٠٠٢٨ كلم في الثانية .

ولكي يفسر علم الحيل هذه النتيجة ، أدخل فكرة ان السائل يجر معـه جزئياً المحيط حيث ينتشر الضوء . ولكن هـذا التفسير الغريب يجعل الجرّ هذا يتغير مع الألوان .

أما الدستور (٥) فيعطي ، اذا استبدلنا كل رمز بقيمته ، ٠٢٨ ٢٠٠ من المددين ٠٠٠ ٢٠٠ و٥٠ .

ابطاء الساعات . — الذرّة المشعة تكوّن ساعة صغيرة دقيقـة . لنفرض ان ذرة ، في حالة السكون ، تطلق اشعـاعاً طول موجته ل . إذا تحركت الذرة بالنسبة الى المشاهد بسرعة ر فان علم الحيل التقليدي يتنبـأ بتغيير في طول الموجة Δ = ل $\frac{ر}{ع}$ (ظاهرة دوبلر وفيزو الشهيرة) . ولكن في علم الحيل النسبي ، تبطيء الساعات اذا كانت متحركة ، وذلك من تدخل العامـــل $\sqrt{١ - \frac{ر^٢}{ع^٢}}$ الذي مرّ معنا أن تتناسب مع $\frac{ر^٢}{ع^٢}$ أي مع (Δ ل)^٢. وحقيقة هذه الزيادة التربيعية قد أقامتها تجارب تتنافس دقتها مع صفتها القـاطعة ، وذلك بين عام ١٩٣٨ و١٩٤١ من قبل إيفز وستيوّل .

ودليل قطعية هذه التجارب ان إيفز لم يكن من محبذي النسبية قبـــل تجاربه .

الكتلة المتغيرة . — كانت ترتبط بالزمن المطلق كتل مطلقة : وقد برهن على ذلك لانجفان بوضوح كامـل . وعلى العكس من ذلك ، يفرض علم حركة جديد ، مبدأ الزمن النسبي حيث الكتل متغيرة . فاذا كانت $ك_٥$ كتلة مجموعة في حالة السكون فان الكتلة تصبح في حال تحرك الجسم بسرعة (ر) :

$$ك = \frac{ك_٥}{\sqrt{١ - \frac{ر^٢}{ع^٢}}} \qquad (٦)$$

وهذا يظهر ان الكتلة قد ازدادت ، ولكن هذه الزيادة غير محسوسة اذا كانت السرعة (ر) ضعيفة ، وتصبح معتبرة في القذائف السريعة .

البراهين التجريبية. — أ) إفراغ الشحنة الكهربائية، في أنبوب مفرغ، يرمي بكهارب من المهبط الى المصعد (الأشعة المهبطية) . والسرعة التي تصل اليها هذه القذائف تتزايد مع فرق الجهد عند قطبي الانبوب : فلو كان فرق الجهد مثلاً ٠٠٠ ١٠٠ فولط ، فان سرعة الكهارب تصبح ر= ٠٠٠ ١٦٥ كلم في الثانية ، أي أكثر من نصف سرعة الضوء . وعندها تصبح كتلة الكهرب أكبر بـ١٥ ٪ من كتلة في حالة الهدوء . اذن كان من الممكن اكتشاف اغلاط علم الحيل التقليدي بمراقبة اصطدام هذه الجسيمات التي أصبحت كتلتها أعظم، او بمحاولة انحراف مسيرها بواسطة مجال مغناطيسي او كهربائي لأنه كان يجب ان يلاحظ بأن عملية الانحراف أصبحت أصعب . وبرهنت تجارب غي ولافنشي البديعة ان القذائف المهبطية تنصاع لعلم الحيل الجديـد لا القديم . وتظهر كتلتها هذا التغيير الذي يحدده الدستور (٦) .

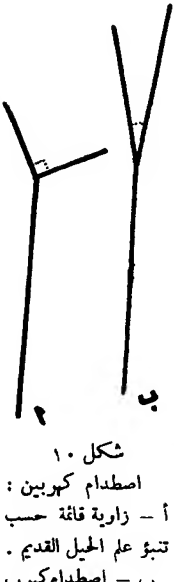
وقد أعاد « تاكن » تجارب «غي» برفع فرق الجهد الى ٠٠٠ ٢٠٠ فولط ، فوصلت سرعة الكهارب الى ٠٠٠ ٢١٠ كلم/ث وازدادت كتلتها بمعدل ٤٠ ٪.

وقد سمحت دقة القياسات إثبات الدستور (٦) بتقريب ١ ٪ ، وبابعـاد

دستور ابراهام نهائياً (الذي كانت تقل صحته مع زيادة سرعة الكهرب) .

ب) عندما يتحول الراديوم بفعل النشاط الاشعاعي فانه يطلق كهارباً (اشعة بيتا) بسرعات أكبر من السابقة تقترب من سرعة الضوء وتبلغ ٢٩٧ ٠٠٠ كلم في الثانية ، مما يتناسب مع فرق جهد يعادل عدة ملايين من الفولط . تصبح الكتلة في هذه الحالة أكبر بعدة مرات من الكتلة في الحالة الساكنة .

أما قانون زيادة الكتلة في أشعة بيتا ، فقد تأكد من صحته كوفمان (١٩٠٢ — ١٩٠٦) وبوشرير (١٩٠٨) ونيمان (١٩١٤) .



شكل ١٠
اصطدام كهربين :
أ — زاوية قائمة حسب تنبؤ علم الحيل القديم .
ب — اصطدام كهرب سريع مع كهرب بطيء : زاوية حادة لا يستطيع علم الحيل القديم تفسيرها

وتعطي الصور الشمسية للمسارات الكهربية (شكل ١٠) ، التي يمكن الحصول عليها في علبة ويلسون ، تأييدها الساطع للنسبية : ذلك انه عند اصطدام كهربان (صدمة مرنة عادية) ، يتنبأ علم الحيل التقليدي بأن مساري الكهربين بعد الاصطدام يكونا متعامدين (كتل متساوية) . وهذا فعلاً ما يلاحظ في الصور الشمسية عندما تصطدم ببعضها بالكهارب البطيئة ؟

لكن اذا كان احد الكهربين سريعاً فان النسبية تتنبأ بمسيرين يؤلفان زاوية حادة (كتل غير متساوية) . والواقع ان بعض الصور قد أظهرت ذلك ، وعلم الحيل القديم يعجز عن التفسير . هل يستطيع الانسان ان يأمل بأكثر من هذا ؟ فالطبيعة نفسها تعطي صوراً عن نسبيتها .

جـ) تصل الينا الأشعة الكونية من جميع جهات الكون ويبقى سرها غامضاً مستغلقاً . وتتألف هذه الأشعة من قذائف شحنتها أسرع من السابقة . والأشعة

التي تصل الى خط الاستواء رغم مجـــال الارض المغناطيسي ، تمتلك سرعة كما لو كانت قد اطلعت تحت فرق جهد يزيـــد على ٢٠ ملياراً من الفولط . في هذه الأشعة يجب ان تصل الكتلة حسب الدستور (٦) الى ٠٠٠ ٤٠ مرة أكبر من كتلتها وهي ساكنة . وهنا لا يمكن ان تتهم النسبية بانها لم تأت الا بتغيرات يمكن ان تهمل ! فهذه ظاهرة في منتهى الغرابة عُلِمَ بها ثم حسبت بمنتهى الدقة .

هذه الزيادة المطردة في الكتلة ، كلما اقترب المتحرك من سرعـة الضوء ، تساعد على فهم مبدأ تحديد السرعة .

د) لقد ساعدت الظاهرة الفوتوكهربائية وظاهرة كونتون على التأكد من صحة الدستور (٦) بعد تطبيقها على طاقة الكهارب .

قصور الطاقة. – تظهر الظواهر السابقة الطاقة المتحركة (الطاقة الكريّة) وكأنها تمتلك كتلة . وعلى العموم ، تبرهن النسبية ان كل طاقة وازنة وخاصة الطاقات المشعة (الحرارة والضوء والموجات الهرتزية) . كل جسم يشع حرارة او ضوءاً يصبح أخف تبعاً للطـــاقة التي فقدها ، وعلى العكس فان المكواة تصبح أثقل عندما تكون ساخنة . علم الحيل القديم كان يفرض ثبات الكتلة. واذا لم يكتشف هذا التغيير في الكتلة فلأن هذه التغيرات ضئيـــلة جداً في الاحوال العادية . فللحصول على تغيرات الكتلة يجب ان تقسم تغيرات الطاقة على ($ع^2$) مربع سرعة الضوء ولكن هذا العدد كبير جداً عندما ينتقل ليتر واحد من الماء من الحرارة صفر الى الحرارة ١٠٠° ، فان كتلته تزداد بمقـدار خمسة أجزاء من مليار من الغرام فقط . وكذلك الطاقة المعادلة لخمسة وعشرين مليون كيلو واط/ساعة تزن غراماً واحداً .

وتشع الشمس في الفراغ كل ثانية على شكل ضوء ٤ ملايين طناً من الطاقة في كل ثانية .

وعلى العكس ، تظهر الكتلة في النسبية على شكل قصور لكمية معينـة

من الطاقة . وكتلة الجسم في حالة السكون تمثل قصور طاقته الداخليـــة ، وهكذا نضطر الى اعطاء كل كتلة ك قيمة طاقية تساوي ك $ع^{٢}$.

فالمادة اذن خزان هائل من الطاقة ، اذا اعدمنا كتــلة كيلوغرام واحد من المادة فاننا نحصل على مبلغ ٢٥٠ مليار فرنك من الطاقة (تعرفة ١٩٤٩) . كم هي الثروة المخبأة في حصاة ! فلو توصلت الانسانية الى هذه الطـاقة ، ولو جزئياً ، فان الفحم والبترول ، اللذين تتصارع الامم للحصول عليهما ، تصبح بدون فائدة . والخلاصة هي ان كل كتلة (ك) تمثل طـاقة : (٧) ط = ك $ع^{٢}$ وكل طاقة لها كتلة ك = $\frac{ط}{ع^{٢}}$. فلو بدلنا عبارة الكتلة بقيمتها في عبـارة الطاقة لحصلنا على :

$$ط = \frac{ك_{٠}\, ع^{٢}}{\sqrt{١ - \frac{ر^{٢}}{ع^{٢}}}} \qquad (\text{٧ مكرر})$$

دستور لا تظهر نتائجه الفظيعة الا في الصفحات التالية :

وحدة المادة . — لنأخذ غرامـــاً واحداً من أخف الأجسام على وجه الأرض ، أي الهيدروجين . إن الأوزان الدنيـــا للأجسام التي تستطيع ان تتحد مع هذا الغرام هي ١٢ غراماً من الكربون ، ١٤ غراماً من الآزوت ، ١٦ غراماً من الاوكسجين، ٣٢ غراماً من الكبريت...الخ (الاوزان الذرية). هذه الأوزان مضاعفات صحيحة لوزن الهيدروجين . عندمـا توصل الطبيب الانجليزي بروست الى ان كل جسم بسيط ما هو الا كتلة لا يمكن فصمها من ذرات الهيدروجين . وهكذا يكون العالم مكون بكامله من الهيدروجين .

وقد استقبل هذا الافتراض باديء الأمر بقبول حسن ، ولكنه ترك بعد ذلك بسبب اختلاف القياسات الدقيقة عن الاعداد الصحيحة : فالمانييزيوم مثلاً ٢٤٫٣ والكلور ٣٥٫٥ .

ثم اختفى الاعتراض عند اكتشاف النشاط الاشعاعي وخاصة عندما اكتشف «صدّي» و «آستون» وجود النظائر ، فأصبح الكلور العادي ٣٥,٥ ، خليطاً بنسب ثابتة من نظيرين للكلور ٣٥ ، ٣٧ واصبح المانيزيوم خليطاً من ثلاثة نظائر ٢٤ ، ٢٥ ، ٢٦ .

ثم نشأت خلال القرن التاسع عشر صعوبات قضت نهائياً على افتراض بروست .

فقد برهنت القياسات الدقيقة انه اذا اعتبر الهيدروجين كوحدة ، فان الوزن الذري لا يكون عدداً صحيحاً لأي عنصر من العناصر . أما القيم الاصلية ١٦ للأوكسيجين ، ١٢ للكربون ، فانها زائدة بمقدار ١ بالمئة . ثم اختير الاوكسيجين = ١٦ كنقطة البداية فاعطي الهيدروجين العدد ١,٠٠٨ .

وهذه الثمانية اجزاء من الف ، قضت قضاءاً مبرماً على وحدة المادة حسب علم الحيل القديم . ولهذا أنفق الكيميائي ستاس عمره في مقارنة الاوزان الذرية مع بعضها، حاملاً الدقة الى جزء من عشرة ملايين. ومع ذلك فالفوارق بقيت لا تتزعزع .

فأزالت النسبية هذه الصعوبات واقامت الدليل على وحدة المادة الى الأبد. فقد بيّن لانجفاف منذ ١٩١١ كيف ان قصور المادة يفسر هذه الفروق ، وان تكاثف الهيدروجين وارتباطه ليؤلف عناصر أكثر تعقيداً يصحبه بث اشعاعي: إن كتلة هذه الطاقة المشعّة هي التي تنقص في الاوزان الذرية للعناصر المعقدة ١٦ ذرة هيدروجين تفقد ١٠٠٠/٨ من كتلتها الكلية لتشكل ذرة واحدة من الاوكسيجين . هذا التركيب يصحبه اشعاع طاقي عظيم يمكن حسابه بواسطة ك ع^2 . وعلى العكس اذا اردنا هدم الصرح الذري وتفكيكه الى هيدروجين فإنه يجب اعطاؤه الكمية التي فقدها . ولهذا فالأنوية الذرية قوية وظهرت منذ القدم ثابتة امام جميع محاولات الانسان الكيميائية والفيزيائية العنيفة . وكان من اللازم ارسال قذائف ذرية للتوصل الى تحطيم الأنوية الثابتة .

بيان ما حققته التفاعلات النووية . — يعطي التحويـل الاصطناعي والنشاط الاشعاعي عبر حسابها، أمثلة واضحة عن تحطيم الابنية الذرية من قبل الانسان . وتقدم النسبية معونتها في هذه العمليات عبر حسابها بدقة الكمية اللازمة للطاقة التي يجب ان تعطي او التي يمكن أن تنتج من جراء هذا العمل. فدساتيرها وحيدة في هذا الميدان . فبعد ان اقامت وحدة المادة ، تقدم الآن دساتيرها لبناء الكيمياء الحديث . وهي لا تنفصل عن تقدم الفيزياء النووي المدهش .

وبرهن «ليفنجستون» و«بيته» منذ ١٩٣٧ بأن قانون اينشتاين ولانجفان (٧) ينطبق بتقريب ١ ٪ على مختلف التفاعلات النووية .

وما القنبلة الذرية التي حققت منذ الطبعة الاولى لهذا الكتاب الا دليـل ساطع على قيمة الدساتير النسبية .

اشعاع النجوم ومصدره . — أن أول العلمـاء الذين توصلوا الى فكرة معقولة عن عمر النجوم هم علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر ، وذلك ان السَّمْكَ الكبير للرسوبيات والبطء الشديد التي تتولد فيه هذه الطبقات ، جعلتهم يعطون القشرة الارضية عمراً أدنى يبلغ عدة مئات من ملايين السنين. كان الفيزيائيون في ذلك الزمن يعتقـدون بأنـــه من المستحيل إعطاء الشمس هذا العمر ، واذا كانت الشمس هي امّ الارض فيجب أن تسبقها في الزمن ولكن مقدار الطاقة التي تشعها الشمس كبيرة جداً ولا يوجد اي منبع طاقي يدوم هذا الزمن الطويـل . فالشمس تعطي في كل سنتيمتر مربـع من سطحها قدرة تعادل ٩ احصنة . فكم يمكن ان يدوم هذا التبذير ؟ وما هو المنبـع الغامض الذي يزود الشمس بهذا السيل من الضوء .

أما الكيمياء فانها تظهر هزيلة مضحكة ، فـــلو كانت الشمس من فحم واوكسيجين بنسب متوافقة فانها لا تستطيـع أن تشع اكثر من ١٠٠٠ سنة .

ثم اكتشف هلمهولتز منبعاً آخراً للطاقة ؛ ذلك ان الشمس تتقلص وينشأ

من هذا التقلص تراسب نحو المركز يولد عملاً هائلاً . واستطاع اللورد كلفن ثم بوانكاريه حساب هذه الطاقة فقدرت بزمن يتراوح بين ٢٠ مليون سنة و٣٠ مليون سنة . ومع ذلك فهذا العدد غير كاف أبداً .

بقي لغز اشعاع الشمس الضوئي غامضاً الى حين ظهور النشاط الإشعاعي وتدخل الطاقة الذرية .

التفجر العفوي للذرات غير المتوازنـة (الراديوم ، الايرانيوم ، الخ) يخرج من بطن كميات هائلة من الطاقة. فالشمس لو كانت من الايرانيوم الخالصة لاستطاعت ان تدوم ثلاث مليارات من السنين . ونكون قد وصلنا الى ما يقارب العدد المطلوب فالعدد ٣ مليار يقرب من العمر الذي نعطيـه اليوم لكوكبنا الارضي ابن الشمس .

ولكن اعتراضات ثلاث تقوم في وجه هذا الافتراض: ١ً – الشمس ليست من الايرانيوم الصافي ، فمادتها الاساسية هي الهيدروجين . ٢ً – الايرانيوم يكفي الماضي فما قولنا عن المستقبل ؟ . ٣ً – النشاط الاشعاعي لا يفسر كل شيء لأن الذرة عندما تتحطم ترد الطاقة التي اخذتها عندما بنيت، فهي لعبت دور خزان للطاقة لمدة زمنية .

وهكذا كانت المشكلة المطروحة قائمة قبل ظهور النسبية التي حملت اليها الحل النهائي . الطاقة النجمية تتولد من تحول المادة الى اشعاع ، وقد رأينا الطاقة الهائلة المتولدة من تحويل غرام واحد من المادة . ومع ذلك فان ضوء الشمس يستلزم ٤ ملايين طناً من المادة في الثانية الواحدة . ولكن الشمس كبيرة بحيث أن هذا النقصان لا يؤثر فيها الى مدة ١٠٠٠٠٠ مليار سنة .

إنما الى الآن لم يستطع العلم إثبات امكانية تحويل المادة بكاملهـا الى طاقة ، ويمكن تفسير ضوء الشمس بتحويل جزئي . ها هو وصفه :
اتحاد ٤ أنوية هيدروجين أي ٤ جسيات أولية (بروتون) مع حذف شحنتين كهربائيتين (جسيمين موجبين) يولد نواة الهيليوم . هذا التفاعـل

يحرر طاقة كبيرة، لأن وزن نواة الهيليوم ينقص بمعدل ٨ ٪ عن مجموع الكتل الاصلية (كتلة الجسيمين الموجبين مهملة). ولكن ارتباط الانوية الاربعة لا يتم لحظياً بل حسب سلسلة من التفاعل (سلسلة بيته ١٩٣٩) التي تفسر وتوافق ما يحصل في جوف النجوم . وهذه السلسلة تستلزم وجود مساعدات كالفحم والآزوت الموجودين بكميات ضئيلة في الشموس المولودة حديثاً .

وهكذا ، عندما تفقد النجوم أقل من واحد في المئة من كتلتها الأصلية ، تولد طاقة كافية لتفسير ماضيها ولتأكيد عمر طويل في المستقبل قبل ان تنطفيء . ها هو اخيراً الحل لمشكلة ظلت لغزاً أمداً طويلاً . ونحن نعلم بفضل الدستور (٧) الذي أعطته النسبية السر وراء بريق النجوم .

في مجال اللامتناهي في الصغر

لنرجع الى عالم الذرة والعوالم التي هي أدنى من الذرة . في هذا العالم تسود نظرية الكموم ، ذلك ان التبادلات فيه منفصلة ، بمعنى ان الطبيعة تعمل حسب دفعات فجائية غير متصلة . وهنا نلحظ بتعجب كبير ان النسبية التي بنيت في الأساس لتفسير المتصل ، تقوم بدور الاداة اللازمة للنظريات الكمّية .

دفعة الحبات الضوئية . — استشعر اينشتاين منذ ١٩٠٥ في الوقت الذي كان يلقي فيه بأسس النسبية ، بخاصية الضوء الجسيمية وذلك من تحليل الظاهرة الفوتوكهربائية . فتنبأ بوجود الجسيم الحباحي (الفوتون) وهو جسيم يشكل القذيفة الضوئية المنعزلة . وحسِبَ مقدار دفعته ($\frac{ت\,ه}{ع}$) بواسطة دساتير النسبية التي تربط الدفعة بالطاقة. ذلك ان دساتير علم الحيل التقليدي تعطي مقداراً مخالفاً .

فأيدت التجربة القيمة $\frac{ت\,ه}{ع}$. وتلك كانت اول مساعدة من النسبية

لنظرية الكموم ؛ تلتها سلسلة طويلة من المساعدات الأخرى .

الوصف الدقيق للاشعاعات الطيفية . – في بداية هذا القرن ، كانت الظروف التي ترافق بث الاشعاعات من الذرة او امتصاص هذه الاشعاعات مجهولة ، فعرض « نيلسن بوهر » عام ١٩١٣ نموذجاً للذرة بالاستناد على نظرية الكموم ، التي كانت في بدء ظهورها ، فكان لهذا النموذج قدرة رائعة على تفسير الظواهر الطيفية ولهذا قوبل بتقدير الجمهور المثقف . لنأخذ أبسط الذرات اطلاقاً ، أي ذرة الهيدروجين التي تتألف من كهرب واحد يدور نواة ذات كتلة ومن شحنة كهربائية موجبة . الكهرب في هذه الذرة . لا يستطيع الدوران إلا في أمكنة معينة متوازنة تشبه طبقات البناء مثلاً ، وعندما يكون في طابق ما فانه لا يشع . ولكن عندما ينتقل من طبقة الى اخرى فانه يحرر قدراً من الطاقة او يمتص قدراً منها . وهذا القدر يكون كبيراً او صغيراً بمقدار الطبقات المقطوعة . هذه القفزات المختلفة والممكنة تسمح بحساب تواتر الاشعاع الذي يمكن ان يصدر عن الذرة . هذه الحسابات النظرية ، الخاص منها بذرة الهيدروجين ، قادت بوهر الى سلسلة من الاشعاعات ، وهي تلك التي كانت تُشاهد منذ مدة طويلة والتي كان قانونها العملي لغزاً من الألغاز .

ولكن بعد هذا الانتصار الأولي اصطدمت هذه النظرية بصعوبات : التجربة تظهر اشعاعات الهيدروجين بشكل غير بسيط يتألف كل منها من عدة مركبات متقاربة ومنها على الأخص اثنتان شديدتان ، بينما لا تؤدي حسابات بوهر الا الى اشعاعات بسيطة .

ذلك ان بوهر لم يطبق في حساباته الا قوانين علم الحيل القديم . فقام سومرفيلد عام ١٩١٥ بإجراء التعديلات التي ادخلتها النسبية المحدودة فتوصل الى تنبؤات بالغة الدقة . وهكذا استطاعت النسبية ان تتنبأ كماً وكيفاً بجميع اشعاعات الهيدروجين والهيليوم المتأين .

ومنذ ذلك الحين أصبحت كل نظرة في مطياف ، وكل صورة للتحليل الطيفي يحملان للنسبية تحقيقاً دقيقاً . وتظهر التجربة مرة أخرى ان علم الحيل النسبي هو الانسب في دراسة الجزئيات داخل الذرة .

علم الحيل الموجي . — كانت تظهر طبيعة الكهرب ، بما هو جسيم ، ثابتة لا تتزحزح ،عندما جاءت الفكرة، للفيزيائي لويس ده براي عام ١٩٢٣، بربط الكهرب بموجة شريكة له . وقد قادته الى ذلك ملاحظتان ؛ فمن الجهة الاولى نرى الضوء الذي له صفة التموج المبرهن عليها منذ زمن طويل ، يظهر في بعض الاحيان على شكل جسيمات هي الجسيمات الحباحبية التي تمثل حزمة من الطاقة .

ومن جهة أخرى ، تتميز أوضاع الكهرب حول الذرة باعداد صحيحة . وليس للأعداد الصحيحة في علم الحيل القديم أية ميزة خاصة . فانها وعلى العكس من ذلك ، تتدخل بشكل دائم في الظواهر التي تنشأ فيها التموجات .(تراكيب طنين ... وغير ذلك) .

إذن فقد وجد لويس ده براي نفسه منساقاً الى دراسة تمثيل مختلط للكهرب حيث تتوافق ، كما في حالة الضوء مثلاً ، الموجة والجسيم . ولكن كان يمكن لهذه الفكرة أن تبقى عقيمة لو لم توجد نظرية النسبية في ذلك العام . ذلك ان معادلات النسبية المحدودة كانت معدة لتساعد فكرته في الأخذ بصيغة رياضية ، وقد استطاع ، بسبب استخدامه للزمن النسبي ، أن يمدد ويوسع علم حيله الموجي . فالموازاة بين انتشار الموجة وحركة الجسيم أصبحت موجودة بفضل دساتير لورنتز .

وعلى ضوء هذه النظرية ، أصبحت ظروف الكموم ، التي كانت لغزاً مستغلقاً ، مشابهة لظاهرة الطنين ، وأصبحت الاعداد الصحيحة طبيعية كما هي طبيعية في النظرية القديمة للأوتار المهتزة .

هذه الفائدة الذهنية كانت ستضيع ، ولا وزن لها في سبيل اثبات فكرة

ثورية كهذه (المادة تقودها الموجات !) ، لو لم تسرع واقعية هذه الموجات الى الظهور بعد عدة أعوام قليلة .

والموجة التي تنبأ بها لويس ده براي ، لا يزيد طولها عن موجة الاشعة السينية (جزء من مئة مليون من السم) وذلك في أحسن الظروف المؤاتية (كهارب ذات سرعة ضعيفة) . وهذه البلورات التي تنشر الاشعة السينية (ظاهرة لاو) ألن تنشر كذلك الكهارب ؟ كان يمكن لهذا السؤال البسيط أن يلقي الذعر في فؤاد الفيزيائي التقليدي ، لان ذلك لا يمكن أن يفهم مع كون الكهرب جسيماً .

ومع ذلك فقد استطاع دافيدسون وجرمر منذ ١٩٢٧ ، أن يصور حلقات التشتيت للكهارب : هذه الظاهرة تسير على النمط الذي رسمته قوانين لويس ده براي . فجاءت التجربة التي هي الحكم النهائي ، لتبرهن على وجود الموجات الكهربية (نسبة الى كهرب لا الى كهرباء) النسبية . ومنذ ١٩٢٧ ، أصبحت التجربة تجري في بلد من بلدان العالم مبرهنة على قوة علم الحركة النسبي داخل الذرة .

ولنشر في هذا الحديث الى أن تشتيت الكهارب أصبح له تطبيقات في الصناعة : مثل تحليل المواد (المعادن ، والمنسوجات ، والشحومات) والعدسات والمجاهر الكهربية (نسبة الى كهرب) .

ميزات الكهرب المغناطيسية . — دفع شرودنجر بعلم الحيل الموجي دفعة قوية عندما بيّن ان هذا الاخير يسمح بتفسير نتائج الاطياف .

ولكن الشيء الذي يدعو الى الأسف هو ان موجة شرودنجر ، كموجة لويس ده براي ، تنفي اصلها . والشيء الذي يدعو للخيبة هو ان الموجة ليست تابعة للنسبية لانها لا تحتفظ بشكلها تبعاً الى مشاهدين متحركين بالنسبة الى بعضهم البعض . ولا توجد نظرية معروفة تسمح لهذه الموجة ان تحتفظ بهذا الشكل بدون تغيير .

ثم ظهر ان اعمال شرودنجر لم تكن تامـة ، ذلك انه كان في اللازم ، في سبيل توافق النظريات مع معطيات التجربة ، ادخال جديدٍ على المعـادلات يصبح الكهرب بموجبه مغناطيسـاً . هذا غريب عن علم الحيل الموجيّ ، ومع ذلك فالعزم المغناطيسي ضروري .

وفي عام ١٩٢٨ قـام فيزيائي انجليزي شاب يدعى ديراك بجهود عبقرية ليوفق بين علم الحيل الموجي والنسبية واستطاع ان يحور معادلات شرودنجر بحيث أصبحت ثابتة بالنسبة الى مشاهدين غاليليين .

وعندها برزت فجأة ظاهرة غريبـة : إذ أصبحت مغناطيسية الكهرب نتيجة حتمية لشحنته الكهربائية ، فكان ذلك هدية النسبية للاحتفال برجوعها الى نظرية الكموم . وهكذا تظهر مرة أخرى أفضلية النسبية على علم الحيل القديم . فعند الانحناء أمام النسبية برزت ميزة اساسية كانت مختفيـة وراء الدساتير التقليدية .

وهذا الربح لم يكن وحيداً . فقد حسنت نظرية ديراك النسبية من نتائج سمورفيلد في التراكيب الدقيقة . وأعطت تفسيراً صحيحاً لظاهرة زيمن غير العادية التي لم تستطع أية نظرية سابقة ان تحصل على تفسير لها .

الكهرب الموجب . — طاقة الكهرب المتحرك الذي كتلته في حـالة سكونه $ك_٠$ يعطيها الدستور (٧ المكرر) :

$$ط = \frac{ك_{٠}\, ع^{٢}}{\sqrt{١ - \frac{ر^{٢}}{ع^{٢}}}}$$

امام جذر تربيعي ، يمكن ان تؤخذ اشارتان + او — . وكانت معادلات ديراك تنتظر حلولاً موجبة ، أي كهارب طاقتها موجبة ط وحلولاً سالبـة أي كهارب ذات طاقة سالبة — ط . وهكذا انساق ديراك الى مواجهـة

طاقات سالبة . انها لاحلام خالصة ، فالتجربة لم تلحظ يوماً ما شيئاً كهذا . ولم يعدم عالمُ العلماء ان يصرخ مستنكراً ومتهماً نظرية ديراك بهذه النتيجة الجنونية . ولكن مهلاً ايها العالـمْ المتشكك ، واسمح لنا ان نطالب بصوت عال ، لفائدة النسبية ، بادخال الحالات المتناقضة . فانها هي ، وهي وحدها تتطلب ذلك ، الجذر التربيعي والاشارة المزدوجة ملك لهـا خالص ، وعلم الحيل التقليدي لا يعرف الجذر التربيعي في عبارة الطاقة .

وقد بدأ ديراك العبقري بتفسير جهلنا باحتمال وجود حالات سالبة للطاقة . وذلك عن طريق حسي ، بواسطة مثال . لنفرض ان الكون فيه مسام ، او بعبارة اخرى مليء بثقوب ذات طاقات سالبة . اذا وجد في الكون كهارب عادية أكثر مما يلزم لسد الثقوب ، فان هذه الحالات للطاقة تكون مشبعة ، وتكون الثقوب كلها مليئة ويجب أن لا يراها ولا نشاهدها .

أما الكهارب العادية التي نراها فهي التي لم تجد لها مكاناً ، اي التي لم تستطع ان تسقط في ثقب ذي طاقة سالبة .

فاذا جاء تدخل خارجي ذو قدرة كبيرة فاخرج الكهرب من ثقبه ليعيده الى الحالة الموجبة ، يكون قد نولد شيئان في آن واحد : أ) كهرب عادي طاقته موجبة (شحنة سالبة) يمكن أن نشاهده وندرسه . ب) ثقب ذو طاقة سالبة . وبرهن ديراك ان هذا الثقب سيتصرف كنظير للكهرب اي كجسم موجب من حيث الشحنة ، وهو يمتلك طاقة موجبة اي ان بالامكان مشاهدته .

فالطاقة الخارجية تستطيع أن تولد زوجاً (كهرب موجب وكهرب سالب) . وحَسَبَ ديراك هذه الطاقة الخارجية اللازمة فوجد أنه يلزم ، لخلق زوج كهذا ، مليون كهرب – فولط [1] على الاقل . وفي الواقع يمثل

---

(١) الكهرب فولط هو وحدة صغيرة للطاقة يستخدم في الفيزياء الذرية . وهو يساوي الطاقة الحركية للكهرب الذي يكون في حالة السكون ويوضع تحت فرق جهد يساوي ١ فولط. ١ ارغ = ٦٠٠ مليار كهرب فولط .

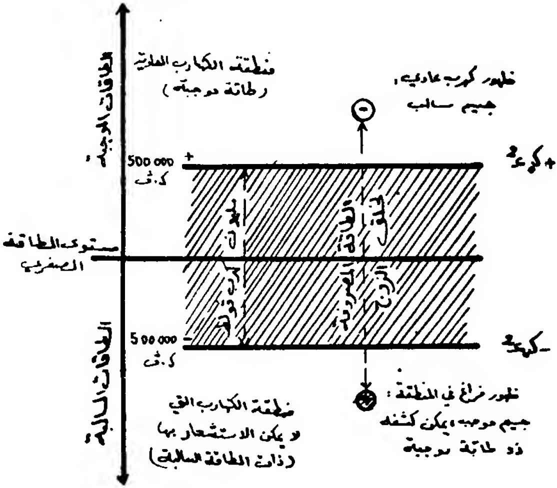
الكهرب طاقة $ك_{٥}ع^{٢}$ (حسب الدستور ٧) وهذا يمثل ٥٠٠٠٠٠ كهرب فولط ايجابياً او سلبياً . فالفرق الادنى بينهما هو مليون – فولط .

وعلى العكس من ذلك كل كهرب عادي يمكن ان يسقط في ثقب ويختفي معـــه ، اي ان عنصري الزوج ، الكهرب الموجب والكهرب السالب ، ينعدمان . ويصحب هذا الاختفاء اشعاع جيمي لا يقل عن مليون كهرب – فولط . واختفاء الثقوب يكون سريعاً جداً والدليل على ذلك ان الكون الذي نعيش فيه مليء بالكهارب العادية .

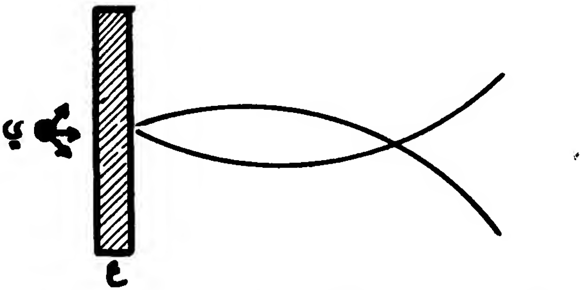
ها هي القصة الرائعة التي لا تستند الى أية قيمة واقعية ، اليس كذلك ؟ هذه القصة كتبت عام ١٩٢٩ ، وبقيت التجربة مصمة أذنيها امام نـــداء ديراك ، حتى عام ١٩٢٣ لدرجة كادت تزعزع إيمانه بنظريته .

هكذا اذن فرضت النسبية على ديراك ، كحل لمعادلاته ، كهارب متناقضة ذات شحنة موجبة غير معروفة في الطبيعة . وبقيت هذه النتيجة ، طيلة أربعة اعوام ، عيباً شنيعـــاً من عيوب النظريات ، حيث ان ديراك اضطر امام الاستغراب من نتائجه الى التزمت والى محاولة تغيير معادلاته .
ولكن المعادلات لم تكذب ، فانتصرت النسبيـــة وفتحت مرة أخرى أبواباً جديدة ، فالكهرب الموجب له وجود كما تنبأت به تماماً . انه يظهر ويختفي على شكل زوجي . والكهرباء تتبادل مع الاشعاع في الظروف التي أعلنتها المعادلات .

وكان اول من اكتشف الكهرب الموجب هو اندرسون علم ١٩٣٣ بفضل الأشعة الكونية. ومنذ ذلك الحين وهذه الكهارب الموجبة تصنع في المختبرات عندما يراد ذلك وبطرق مختلفة جداً . فالاشعة الجيمية الكبيرة الطاقة كالتي يخرج من الثوريوم تولد الازواج باستمرار (شكل ١٣) .
شوهدت أشعة كونية شديدة الطاقة (عشرات مليـــارات الكهرب – فولط) تخلق في آن واحـــد عشرات الألوف من الأزواج التي تغطي نقط



شكل ١١ – تنبؤ ديراك النظري (١٩٢٩) بالكهرب الموجب
التجربة تؤيد منذ عام ١٩٣٣ وجود واشكال بروزه كما تصورها ديراك



شكل ١٢ – خلق زوج من الكهارب جزئية جـ من مادة مشعة يطلق اشعة جيمبه شديدة الطاقة امام شفرة معدنية (ش) . من وراء الشفرة يظهر مسيران منحنيان متماكسان من جـراء مجال مغناطيسي ، هما مسارا كهرب موجب وكهرب سلب خلقتهما الاشعة الجيميـــة . يُصور المسيران في علبة ويلسون .

سقوطها عدة عشرات الهكتارات من الارض .

ثم ان بروز الكهارب الموجبة يصحب غالباً ما يصحب النشاط الاشعاعي الاصطناعي .

ولنشر أخيراً الى التوافق الشديد (الذي لا تفسير له الى الآن) بين الكهرب الموجب والكتلة . ففي أنوية الذرات نجد الكهرب الموجب مرتبطاً مع الجسيم الحايد (نيترون) وهو جسيم ثقيل ، ليشكلان معاً الجسيم الاولي (بروتون) . أما الارتباط بين الكهرب العادي السالب والجسيم الحايد فانه لم يعثر عليه أبداً ، فلو كان موجوداً لبرزت الى عالم الوجود كيمياء مقلوبة وكون مقلوب هو نظير الكون .

فالصعوبة الكاذبة التي أدخلتها النسبية في الفيزياء انقلبت إلى انتصار ، فكم هي كبيرة تلك النظرية التي تساعد على التنبؤ رغم معارضة البشر لها !

الجسيمات الميزونات ، نماذج لرحالة لانجفان : — الميزونات هي جسيمات كتلتها في حالة السكون تبلغ مئتين وستة عشر مرة أكبر من كتلة الكهرب ، وهي تتميز بعمرها القصير . فهي تتفكك فورياً الى كهرب وجزء محايد ويبلغ متوسط عمرها ٢٢ جزء من مليون من الثانية عندما تكون ساكنة وقد حسب هذا الزمن عدة علماء وذلك بحصرها بواسطة كتلة معدنية ، وبواسطة عدادات تشير الى دخولها وإلى إنفجارها .

ولكن هذه الميزونات قد وجدت في الأشعة الكونية وتقطع عدة كيلومترات قد تصل الى ٨٥ كلم .

وليس لهذه الظاهرة تفسير في علم الحيل التقليدي . فلو كانت سرعتها تبلغ سرعة النور فان أقصى ما يمكن أن تقطعه يقرب من ٦٠٠ متر .

بينما في النسبية يمتلك الميزون عمراً بالنسبة الى المشاهد يزيد مع الطاقة النسبية ط فلو كانت ط٠ طاقة فيحالة السكون و ع٠ عمره في حالة السكون

و ع عمره النسبي فان النسبية تعطي :

$$ع = ع_{ه} \times \frac{ط}{ط_{ه}}$$

وقد تحقق روسّي من هذه العلاقة بدراسة مسيراتها وطاقاتها حسب ع ، فوجدها مساوية للقيمة التي وجدها الآخرون بطريقة سكونية احصائية .

فيكون الميزون نموذجاً حقيقياً لرحالة لانجفان .

٥ حول النسبية العامة

ان النقد المثمر ، الذي قامت به النسبية المحدودة ضد الزمن ، قامت به النسبية العامة ضد المكان ، وكانت النتيجة على الأقل تـُعادل النتيجة الاولى :

فقد لاحظ العلماء الرياضيون منذ ١٥٠ عاماً بالتقريب ، أن هندسة اقليدس (الهندسة التي تـُدَرَّسُ في المدارس الى الآن) ليست الوحيدة الممكنة . فهناك أبنية منطقية مترابطة لا تؤدي الى أي تناقض ، ومع ذلك ترفض بديهية إقليدس . فقامت هندسات لا إقليدية (لوباتشفسكي ، ريمان) أعتبرت كانها لعبات ذهنية . فالهندسات المجردة صحيحة بقدر ما تتدرج منطقياً من معطياتها وبديهياتها الأولية .

ونحن لا نعي المكان الواقعي إلا بالمادة وبالإشعاع الذي يبرز فيه . فما هي الخواص التي نستنتجها له من قياساتنا الفيزيائية . هل يكون مجموع زوايا المثلث في هذا المكان يساوي قائمتين ؟ وهل نسبة محيط الدائرة الى قطرها تساوي ٣٫١٤١٥٩٢٦٥٣٥ ؟ عند وضع هذه الاسئلة تعود الهندسة لتصبح علماً تجريبياً بعد المرحلة التي أصبحت فيها شيئاً مجرداً .

وبما أنه توجد عدة هندسات مجردة، فأي منها ستقلده القياسات الفيزيائية التي نجريها الوسام . ذلك أن التجربة قادرة على الفصل في هذا الموضوع لأن مجموع زوايا المثلث ، إما يزيد عن قائمتين وإما أن ينقص عنه في الهندسات اللا إقليدية . وان العدد ٦٢ ليس محترماً فيها ، فيكفي لهذا إجراء قياسات دقيقة جداً .

الى عام ١٩١٥، لم يشك العلماء أبداً بالنتيجة . فهندسة إقليدس الارستقراطية، القريبة الحدث ، والشديدة البساطة ، هي الوحيدة التي يجب أن تتوافق معها الطبيعة . وجميع القياسات الأرضية تكتفي بالإطار الإقليدي لأنها قليلة الإتساع والمدى . وعلى هذا أبعد الفيزيائيون الهندسة القريبة العهد وطلبوا من الطبيعة أن تعتمد ما طال اعتماده من قبل دماغنا البشري .

ومنذ عام ١٩١٥ سئلت الطبيعة فأجابت على نطاق واسع عدة أجوبة قاطعة . وكان حكمها واضحاً كل الوضوح ومعاكساً لما ننتظر .

الظواهر المادية لا تجري في فضاء إقليدي ، فالمساطر والبيكارات التي تستخدمها الفيزياء ، والمنظار والخلية اللذين يلتقطان الأشعة ، تحمل جميعها معلومات تتنافى مع هندسة إقليدس . وتتبع هندسة ريمانية : المكان ريماني .
لنترك مؤقتاً هذه النتيجة ونتبع خيط الأفكار التي قادت أنيشتاين الى التنبؤ بها تنبؤاً مدهشاً بجرأته ، لا يقوده الا التعليل فقط .

هل يوجد مشاهد مفضل

يرتكز العلم على مطابقات مطلقة . فالظاهرة المدروسة يجب أن تكون مستقلة عن الطرق التي تدرس بها ، أي عن كل نظام مرجعي .

وفي علم الحيل ، كانت الفيزياء التقليدية تعتبر أن المشاهدين الغاليليين ، المنسجمين حسب حركة مستقيمة بالنسبة الى بعضهم ، هم وحدهم فقط متكافئون . ولكنها كانت لا تستطيع أن تحتفظ بهذا الاعتبار فيما يخص الظواهر الضوئية والكهرطيسية .

وكانت مرحلة النسبية المحدودة مرحلة إظهار التكافؤ بين جميع المشاهدين الغاليليين أمام الطبيعة واستخراج النتائج الناجمة عن هذا التكافؤ . وقد رأينا التقدم الباهر الذي حصل من ذلك. ولكن لماذا هذا الوقوف في منتصف الطريق ؟ ولماذا يفضّل المشاهد الغاليلين ؟ ولماذا لا يتساوى جميع المشاهدين بدون استثناء أمام العلم ؟

وهكذا كان طموح أينشتاين الى تعميم النسبية وجعلها تشمل جميع المشاهدين الممكنين والى البرهان أن الفيزياء لا تتغير ، وأنها كونية ، مهما كان الموضع الذي تنشأ فيه .

ولأجل بيان مدى جرأة هذه المحاولة ، يجب أن نتذكر ان الأنظمة المختلفة ليست على العموم متكافئة . فإذا توقف القطار فجأة بواسطة الحصر ، فسقط مسافر من جراء ذلك على وجهه ، فانك بلا شك لا تتجرأ على لومه ولو كان ذلك باسم أعظم فيزياء في الدنيا ، ولا على ان تبرهن له أنه يجب ان لا يتأثر أغيَّر القطار من حركته ام لم يغير . ولن يصدقك أحد في تزعم ان الامور باقية كما هي لو بقي القطار في حركته الغاليلية . فعملية توقف القطار وتحوله من نظام غاليلي الى نظام متباطيء بشدة لا يخفى على أحد من المسافرين .

وعلى الرغم من هذه الصعوبة المانعة ، أكمل اينشتاين محاولته بالتأمل حول مضاهر القصور التي تبرز عند بدء الحركة او عند محاولة إيقافها وحصرها.

الكتلة الوازنة والكتلة القاصرة . — كلمة كتلة في الفيزياء غنية بالمعاني المختلفة وهي تأخذ على الأقل سبعة معاني مختلفة تحمل جميعها اسم كتلة . ولكننا في سبيل التبسيط سوف لا نعتبر الا معنيين فقط ويكفينا عملياً أن نقارن بين كتلتي جسمين بوزنها . والميزان يعطي نسبة الأوزان ، فنعتبرها نحن نسبة الكتل . وفي هذا العمل اذن نستخدم الارض وقوة جاذبيتها ، ولهذا تسمى الكتل المحصول عليها بهذه الطريقة بالكتل الوازنة .

ولكن تعرف الكتلة في بداية علم الحيل بشكل آخر .

لنفرض جسماً (أ) موضوعاً على مستوى أملس ولننقفه نقفة (ن) فنلاحظ أنه يتحرك بسرعة ما . لننقف جسماً آخراً (ب) بنفس النقفـة (ن) . فاذا كانت سرعة (ب) ثلاثة أضعاف سرعة (أ) ، فنقول ان كتلة (أ) ثلاثة اضعاف كتلة (ب) . وهذه الكتلة هي كتلة النقف (موبرتويس) او كتلة القصور ، فالجاذبية بل ووجود الأرض لا أثر لهما في هذا التعريف .

ولكن الكتلتين هاتين متكافئتان . — وهـــذه ظاهرة شديدة الغرابة ، استطاعت الفيزياء ملاحظتها بدون ان تستطيع تفسيرها . فظهر هذا التكافؤ صدفة وليس له أي معنى عميق. وبما ان لهذا التكافؤ أهمية كبرى في النسبية العامة ، فسوف نتعرض قليلاً للأدلة المبينة على ذلك .

الكتلة القاصرة هي ذاتها الكتلة الوازنة . — أ) أقـدم الأدلة هي تجربة غاليليه ، عندما أسقط من أعلى برج « بيزا » المـائل عدة أجسام مختلفة من حيث المادة والوزن (أجسام كبيرة ثقيلة بحيث يمكن إهمـــال مقاومة الهواء لها) ، وفي جميع الظروف ومهما كانت أحجامها ومادتها ، فان هذه الأجسام المتحركة كانت تصل في آن واحد الى الأرض .

ولكن جذب الأرض للأجسام نحو مركزها يكون متناسبـــاً طرداً مع الكتل الوازنة لهذه الأجسام . بينما سرعة حركتها تتـأثر بالكتلة القاصرة . فتَسَاوي زمن سقوط الأجسام المختلفة يَدُلُّ على تَسَاوي الكتلة الوازنة مع الكتلة القاصرة لكل من هذه الأجسام .

وتكرر اليوم هذه التجربة في المدارس أمام التلاميذ في أنبوب زجاجي مفرغ وذلك بطريقة اكثر إقناعاً .

ب) ثم برهن حديثاً (١٨٩٠ — ١٩١٠) الفيزيائي إيتفوس في تجارب بالغة الدقة ان هذا التساوي يتحقق لأقل من واحد من عشرين مليون . في موضع ما يتجه شاقول المعمار إتجاهاً عمودياً على سطح الماء الهـــادىء وذلك بفعل

عاملين : ١ – جاذبية الأرض (تدخل الكتلة الوازنة) . ٢ – القوة النابذة الناتجة من دوران الأرض حول محورها (تدخل الكتلة القاصرة) التي تحول الشاقول عن وضعه النظري الذي يجب ان يكون نحو مركز الأرض . فلو كانت الكتلتان مختلفتين لوجب تغير وضع الشاقول بتغير الجسم المعلق في طرف الخيط (رصاص ، نحاس ، زجاج ، المنيوم ...) فبرهن إيتفوس على التوازي التام بين نواسين مختلفين وذلك باستخدام ميزان جدليّ .

هذا التكافؤ شديد الغرابة والاهمية . – لقد تعودنا هذه الحوادث التجريبية بحيث لم نعد نستطيع ان نرى ما فيها من غرابة . لننظر ما يحصل في مجالات اخرى مثلاً ...

لنضع أجساماً (أ، ب، ج ...) في مجال كهربائي معلوم ، هذه الأجسام تختلف بالوزن وبالطبيعة. نرى انها تأخذ تسارعات مختلفة لأن القوة الكهربائية التي تؤثر فيها تتغير تباعاً للشحنة التي تحملها هذه الأجسام ، ثم تتأثر حركاتها بكتلها القاصرة الخاصة . فلم يبق أي تناسب ولا أية علاقة بين القوة الكهربائية وبين الكتلة القاصرة . فالجسم الثقيل المشحون بكثرة يتحرك بشدة . اما الجسم الخفيف غير المشحون فانه يبقى بدون حراك الخ..

لنضع نفس الأجسام (أ، ب، ج ...) في مجال التثاقل ، أي لنتركها تسقط نحو الأرض ، عندها تأخذ تسارعات متساوية لأن قوة الجاذبية التي تؤثر على هذه الأجسام (الوزن) تتغير طرداً مع الكتلة القاصرة ، مهما كانت حالة الجسم الفيزيائية ومهما كانت طبيعته وكبره .

في هاتين التجربتين اتضح لك الإتفاق الغريب الذي تفرضه التجربة الثانية . وهذا الاتفاق تقرّ به الفيزياء ولا تعرف له تفسيراً .

وحدة الكتلة هي قاعدة انطلاق النسبية العامة الراسخة . فهي لوحدها تفضل تحقيقات كثيرة ثانوية . فاذا كانت النسبية العامة الى الآن ليست على مثل ما عليه النسبية الخاصة من استعمال في المختبرات ، فاننا نستطيع التأكيد

بأنها ستكون في الصفحة الأولى من الفيزياء عند بحث العلم في تفسير مركبات النواة الذرية . وقد رأى اينشتاين ، كتفسير لهذا التطابق ، ما يلي : يبرز أمامنا الشيء الواحد على صورتين حسب الظروف : صورة القصور ، وصورة الوزن . التجاذب هو قوة قصورية ، او يجب ان نقول : ان قوانين التجاذب يجب ان تعبر عن قصور المادة .

وهكذا تمهدت الطريق امام اكتشاف عظيم .

النتائج الاولى . — إن لزوم تغير الكتلة الوازنة تبعاً لتغير الكتلة القاصرة لم يكن محتماً في النسبية المحدودة . لأنه في هذه يُفقد التناسب بين الوزن والكتلة . انما ما سبق في الأسطر القليلة ، يجعلنا نستبعد هذه الحالة . فالطاقة التي تقصف كذلك بالقصور ظهرت بأنها وازنة ، والتجاذب يؤثر في الطاقة كما يؤثر في المادة . وبالتالي ، لا يمكن للشماع الضوئي ، الذي يحمل طاقة ما ، ان ينتشر حسب خط مستقيم بجوار الأجرام السماوية : بل ان مسير الضوء يجب ان ينحني كانحناء مسير القذيفة . ولم يشك احد قبل اينشتاين بهذه الظاهرة الهامة التي أيدت المشاهدة التجريبية صحتها .

والنسبية المحدودة لا تسمح بهذا التنبؤ بتاتاً بل ان ذلك يتهددها تهديداً خطيراً . فالضوء اذن ينتشر على مسير قطع زائدة بحيث لا يمكن للسرعة (ع) ان تكون ثابتة . وهكذا تصبح النسبية المحدودة حالة خاصة متعلقة بمجال تجاذبي معدوم او قريب من العدم . ها هي النسبية المحدودة بدورها تصبح تقريبية وتنال بدورها ما نال منها علم الحيل التقليدي .

وهكذا أصبح التجاذب الكوني يتدخل في جميع الظواهر الفيزيائية ، لأن (ع) تتدخل فيه . لنبحث مع اينشتاين في تجديد دور التجاذب الكوني.

التجاذب الكوني والمصعد . — لنأخذ مصعداً مقفلاً تماماً في ناطحة سحاب هائلة، ولنفرض ان احد الفيزيائيين يجري تجارب في داخل هذا المصعد ويعتبره كموضع للدراسة . عندما يكون المصعد ساكناً يكون سقوط الاجسام

نحو ارضه طبيعياً ، وعندما يرتفع المصعد يظهر كأن التجـاذب الكوني قد ازداد ويصبح سقوط الاجسام أسرع . لنفرض اخيراً ان المصعد انقطع حبله فسقط سقوطاً حراً من أعلى البناء . لو ترك الفيزيائي ساعته او منديله فانهما سوف يبقيان معلقان في الهواء في المكان الذي تركه فيهما ، ولن يتحركا نحو ارض المصعد. فلو افترضنا مشاهداً من خارج المصعد فانه سوف يشاهد جميع هذه الأجسام تتجه في سقوطها نحو أسفل البناء ، المصعد والفيزيائي والساعة والمنديل ، بنفس السرعة (تجربه غاليليه) ولم يبق بالنسبـة الى الفيزيائي ، ساكن المصعد ، لا فوق ولا تحت ولا أي اتجاه مفضل: فقد اختفى التجاذب الكوني وأصبح المصعد نظاماً غاليليا بحيث ان كل شيء لو دفع دفعـة صغيرة لذهب في خط مستقيم الى ان يصطدم بجدار المصعد .

اذن فالحركة المتسارعة بانتظام قد استطاعت ان تعدم التجاذب الكوني « محلياً » بالطبع وذلك لأن جاذبية الأرض ليس لها اتجاه واحد في مختلف انحاء الكرة الأرضية . فالنظام الذي يعدم التجاذب الكوني في نيويورك مثلاً يجعله مضاعفاً في النقطة المتقابلة لها مع قطر الأرض .

والفيزيائي الذي يولد في المصعد ويحيا فيـــه ، في ذلك السقوط الحرّ ، ويعتبره ساكناً (والانسان يعتبر الأرض ساكنة) يجد انه يعمل في نظام غاليلي ويطلب بحقوق أفضلية هذا الافتراض، ولـوَصَف الطبيعة على افتراض الفيزيائي الموجود خارج المصعد الذي يشاهده من الخارج . وهـذا الأخير يفسر نفس الظاهرة ، أي السقوط الحر والحركة المتسارعة بانتظام ، على كونها وليـــدة مجال تجاذبي كوني : وهـــذا أكثر تعقيداً ، لكن الوصفين متساويان ومتكافئانِ .

يمكن الانتقال من نظام غاليلي (حركة منتظمة) الى نظـــام غير غاليلي (حركة متغيرة) بالانتباه الى تجاذب كوني . فمجال التجاذب الكوني هو جسر يعبر عليه من نظام مرجعي الى نظام آخر . فتدخل عامل التجاذب الكوني

سيقودنا من النسبية المحدودة الى النسبية العامة .

التجاذب الكوني والهندسة . — ان التغير في الحركة ، المؤدي الى تغيير او حذف للتجاذب الكوني بالنسبة الى النظام المرجعي المعتبر ، يظهر صلة عميقة بين التجاذب الكوني وعلم الحركة الذي هو هندسة الطبيعة بدلالة الزمن. وعندها تأمل اينشتاين في الوصول الى معرفة نتائج التجاذب الكوني بواسطة هندسة خاصة بالمكان — الزماني . فبدل اختيار نظام مرجعي مثالي (غاليلي) يحتوي في داخله على قوى تجاذب كوني ، اختار انيشتاين كون التجاذب الكوني معبراً عن ميزة التسارع (غير الغاليلي) للنظام المرجعي . فكل نظام غير غاليلي يرتبط بمجال تجاذبي (ت) في المعنى العام . وأصبح وجود المادة ، في محل ما وعلى نطاق محلي ، يعبر عنه بنفس المعادلات التي تعبر عن تسارع نظام .

ملخص . — في كل نظام لاغاليلي يوجد مجال تجاذب كوني (ت) (بالمعنى العام) . و (ت) هذا يجب أن يظهر في معادلات هذا النظام . كل تغير في الحركة يلحق تغيراً في (ت). ويصبح وقوف القطار ، في المثال الذي أعطيناه، بارزاً في تغيرات (ت) . أما الشرط (ت) = صفر ، فهو يتناسب مع الأنظمة الغاليلية .

ويلزم إذن أن تحتفظ قوانين الفيزياء بشكلها عند الانتقال من مرجع الى مرجع إذا دخل فيها المعامل (ت) ، (شرط التغيير المتلازم) . هذا الشرط التعسفي لا يُبقي مجالاً واسعاً أمام أشكال قوانين الطبيعة . فمبدأ النسبية العامة ، أي مبدأ تكافؤ جميع الأنظمة لتحقيق وحدة الفيزياء ، كثير التزمت والحدّ .

والبحث عن أشكال القوانين المتوافقة مع النسبية العامة يضع مشكلة رياضية عويصة جداً. ويجب الاستعانة بآخر ما وصل اليه علم التحليل الرياضي، وقليل من الرياضيين يستطيع متابعة الشرح النظري ، لكنك تستطيع أن

تضع ثقتك . فإحداثيات غوس، وهندسة اقليدس ، والحسابات الجهدية يمكن أن تترك جانباً . فمعد ان أعطت الفيزياء نقطة البداية الصحيحة ، كن متأكداً بأنه لن ترتكب غلطات شنيعة ، فالنتائج متعلقة بالمقدمات .

اكتشاف قوانين التجاذب الكوني . — لنفرض اننا نعرف تدرج ظاهرة في المكان الزماني ، وان هذه الظاهرة ترجع الى نظام غاليلي (ن) .

والعلماء الرياضيون يعرفون كيفية الانتقال من نظام الى نظام بواسطة عمليات حسابية بحتة . وهذه الحسابات ليست سهلة عملياً ولكنها نظرياً بسيطة .

فنحن إذن نعرف مظهر هذه الظاهرة في أي نظام آخر (ض) غير غاليلي متسارع بالنسبة الى الأولى بشكل ما .

ولكنه يوجد مجال تجاذبي في النظام الجديد ، وعلى هذا يجب أن نتوفر على معلومات بواسطة حسابات بحتة خاصة بتأثير المجال التجاذبي هذا على الظواهر .

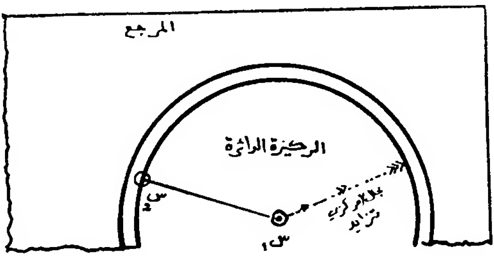
ومجالات التجاذب المتغيرة ، المتولدة من حركة (ض) ، لا تولد جميعها مجالات تجاذبية طبيعية : لأننا نعلم ان الحركة لا يمكن أن تغير أو أن تحذف في نواحي كبيرة المجال التجاذبي الطبيعي. ولكن المجالات الاصطناعية الخاصة تتصف محلياً بنفس صفات المجال التجاذبي الطبيعي . إذن يمكن أن نتأمل الحصول بواسطة حسابات بحتة ، وذلك بتغيير الاحداثيات وبدون إجراء تجارب على قوانين التجاذب العامة . وهذا أبدع مشكل استطاعت النسبية العامة أن تضعه وأن تحله حلاً كاملاً . وهنا يظهر عمل اينشتاين أعظم من عمل نيوتن الذي وجد دليلاً في قوانين كبلر الثلاثة التي تصف الأثار الفلكية للتجاذب. وبالإستناد الى هذه القوانين استطاع التوصل الى أصلها والى صياغة قانون التجاذب الكوني .

وعلى العكس من ذلك ، وفي كون وهمي خالٍ من التجاذب ، وبدون

إلقاء نظرة واحدة على النجوم ، استطاعت النسبية العامـــة أن تقيم قوانين التجاذب . والدليل الوحيد المأخوذ من الطبيعة تطابق الكتلة الوازنة والكتلة القصورية . هذه القوانين ليست قوانين نيوتن (إن قوانين نيوتن لا تُرضي حتى النسبية المحدودة) . ولكن منتهى الغرابة هو أن هذه القوانين التي خرجت من الحسابات البحتة ، والتي تظهر كأعجوبة أمام الرجل العادي ، تنطبق على الواقع بتقريب ، سوف نعود اليه ، بحيث ان الفروق تستحيل أن تظهر .

كان تجاذب نيوتن يفرض تأثيراً فورياً على مسافـة ، مهما كانت بعيـدة . ومن دساتير نيوتن التي فرض انها صحيحة ، استطـاع لابلاس أن يحسب بأن التجاذب يجب أن ينتشر بسرعة أكبر بـ ٧ ملايين مرة من الضوء . أمـا في النظرية الحديثة فإن التجاذب يدخل الى حظيرة المعقول ، الى التأثيرات التي تنتقل شيئاً فشيئاً : انه تحريف للمكان الزماني الذي ينتشر بسرعة الضوء .

التجاذب يمنع الكون أن يكون اقليديا – ركيزة اينشتاين . – لنأخـذ ركيزة كبيرة جداً (ر) (شكل ١٤) متحركة حركة دورانية منتظمـــة بالنسبة الى نظام غاليلي (ن) .



شكل – ١٤

ولنفرض عالماً فيزيائياً يعمل على هذه الركيزة ولكنه يرجع قياساتـه الى

النظام (ن) . هذا الفيزيائي يقع تحت تأثير قوة نابذة، إنما يستطيع أن يفسر ذلك بمجال تجاذبي خاص : هذا المجال يكون منعدماً في المركز ويتزايد مع البعد عنه ، فهو إذن ليس نيوتنياً . ولكن حسب النسبية يجب على قانون التجاذب العام أن يكتشف ويفسر هذا النوع من المجالات كما يفسر جميع الحالات الأخرى .

لننظر الى قياسات الزمن والمكان عند هذا الفيزيائي . فهو يضع أولاً ساعتين متشابهتين ومضبوطتين إحداهما $س_1$ في مركز الركيزة والثانية $س_2$ عند حافة الركيزة . الأولى ثابتة (بالنسبة الى ن) والثانية متحركة (مع حركة الركيزة) . وفي زمن قصير يمكن اعتبار حركة $س_2$ كحركة الأرض في انطلاقها حول الشمس ، انسحابية مستقيمة ، وإذن يمكن تطبيق النسبية المحدودة في النظام (ن) ، أي أن الساعة $س_2$ سوف تتأخر عن $س_1$ (انكماش الزمن الخاص) . ويستطيع أن يشعر الفيزيائي بذلك [1] . وبما ان تأثير الحركة مشابه لتأثير مجال ، يجب أن يستنتج أن الساعات تتأخر في المجال التجاذبي: وقد أيدت الطبيعة هذا التنبؤ الذي قامت به النسبية العامة بوضوح أدهش علماء الفلك .

ولكن الساعات الموجودة على شعاع واحد من أشعة الركيزة (ر) سوف تختلف فيما بينها ، لأن المجال يزيد حسب البعد عن المركز على هذا الشعاع فيستحيل أخذ زمن وحيد في داخل النظام غير الغاليلي. وهذا يولد صعوبات جمة.

وإذا أراد هذا الفيزيائي استخدام مسطرة لقياس أبعاد هذه الركيزة ، فإنه عندما يضع هذه المسطرة مع المسافة ، فإن طولها سوف يصغر لأنها تتحرك حسب طولها . وعلى العكس من ذلك إذا وضعها حسب شعاع فإن طولها لن يتأثر لأن الحركة ليست في اتجاه الطول . إذن لو قاس هذا الفزيائي

---

١ – اذا جاء بالساعة $س_2$ بعد زمن ما الى جانب $س_1$ فإن $س_2$ تكون قد شاخت أقل كرحالة لانجفان .

محيط الركيزة [١] ثم قطرها ، فان خارج قسمة هذين المقدارين سيكون حتماً أكبر من العدد π (لأنه يلزم عدداً أكبر من الأمتار التي نقصت لكي نكمل المحيط !) .

اذن ففي داخل مجـــال تجاذبي ، تصبح بديهيات الهندسة الاقليدية غير صحيحة : فنسبة محيط الدائرة الى قطرها ليس π .

بعد هذه الملاحظات الأساسية سوف نقتصر على ذكر النتائج التي تظهرها الدراسات العميقة .

في المجال التجاذبي ، لا يعدم وجود المتوازيات فقط ، بـــل ان الخط المستقيم يصبح بدون معنى . كذلـك محاور الاحداثيات المستخدمة ليست ديكارتية . ويجب استخدام الاحداثيات المنحنية الجوسية في تحديـد المكان الزماني ذي المتغيرات الأربعة . أنظمة غوس هذه يجب أن تتكافأ عندما تعبر عن قوانين الطبيعة . هذا التكافؤ الذي تفرضه النسبية العامة يحد حداً كبيراً ويضيق بجال أشكال وصيغ الدساتير الممكنة للطبيعة .

في النسبية العامة ، حيث الساعات الثابتة في نظـام واحد ، مختلفة فيما بينهـا ، يصبح الزمن ملاحظة متصلة ، ويكتفي بأن تكون الساعات القريبة قليلة الاختلاف . ولكن مهما كانت هــذه الملاحظة فإن قطع الكون في زمن ثابت لا يمكن أن يكون اقليدياً .

وتختلف مجـالات التجاذب الطبيعية من الناحية الجبرية عن مثال الركيزة الدائرة (التي تبقى مثالاً واضحاً تعليمياً) . ففي مجال مركزه مادي ، ان الأطوال المستعرضة هي التي تبقى ثابتة وتتغير الأطوال الشعاعية على عكس مثال الركيزة وتكون نسبة محيط الدائرة الى قطرها أقل من π .

وقد حسب ادينغتون مقدار هذا التغيير : اذا كانت كتلة تساوي طناً موجودة

---

(١) المحيط ثابت في النظام (ن) ، والفيزيائي الموجود في وسط الركيزة غاليلي مثل (ن) لأن الدوران فيها صفر . (المترجم)

في مركز دائرة شعاعهـا ٥ أمتار ، فإن العدد العشري رقم ٢٤ وراء الفاصلة من العدد π هو الذي يتغير .

وسوف تجد هـذا الفرق ضئيلاً اذا كنت تعرّف العدد π بعشرة أعداد عشرية. ولكن الرياضيين قد حسبوا ٧٠٠ [1] رقم عشري وراء الفاصلة مرتبة حول صالة دائرة في قصر الاختراع في باريس . ووجود طن في وسط هـذه الصالة يفسد لهم ٦٧٦ عدداً .. وهذا ليس مهملاً كما ترى .

تاكيدات تجريبية

١ — حركة الكوكب . — إن قانون نيوتن يعطي الكواكب أفلاكـاً ، حسب قانون كبلر الأول ، تكون الشمس بؤرتها ، وهذه الأفلاك هي قطوع ناقصة ثابتة في المستوى الذي يحتويها أما قانون أينشتاين فيفرض تحرك الأفلاك هذه في المستوى الذي يحتويها ، حركة بطيئة . وعلى هذا يمكن التنبؤ بحركة نهايتي الفلك الدنيا والقصوى في الاتجاه المباشر . وهذه الحركة ضئيلة بالنسبة الى جميع الكواكب إلا عطارداً ، فإنه أسرع الكواكب ثم إن فلكه كثير التفلطح بحيث أن الحسابات النظرية تفرض عليه تحركـاً يعادل ٤٢,٩ ثانية قوسية في كل قرن في الاتجاه المباشر ، وهذه الحركة هي حركة النقطة التي يكون فيها عطارد أقصى ما يكون عن الشمس .

ولكن منذ عهد دراسات لوفرييه لحركة عطارد ، لبثت بقية تعادل ٤٣ ثانية قوسية في كل قرن ، بين عمليات الرصد وبين قوانين علم الحيل النيوتني . هذا الفرق الذي ليس له تفسيراً ، تمحيه النسبية العامـة دفعة واحدة . منذ ١٩٠٠ الى ١٩٤٠ رُصد عطارد ٦٠٠٠ مرة ، ورتبت نتائج هذه الأرصاد ، فجاءت متوافقة مع أقدم نتائج الرصد. وهذا الفرق الذي تظهره النسبة العامة أشد ضآلة فيما يخص الأرض والمريخ من حالة عطارد .ومع ذلك فان حركة أبعد نقطـة الى الشمس من مدار الأرض ومن مدار المريخ أصبحت خـارج نطاق

---

(١) اليوم ١٠٠٠ عدد عشري . (المترجم)

المناقشة، منذ أجريت الدراسات الدقيقة التي قام بها هـ.ي. مورغان (١٩٤٥) وكليانس (١٩٥٢) ، وبفضل الحسابات التي قامت بها الأجهزة الكهربية (نسبة الى كهرب) .

٢ – **انحراف الضوء** . – عندما يمر الضوء بجانب كتلة مادية هامة ينحرف عن مسيره كانحراف القذيفة المادية . ويعد هذا القول من أروع تنبؤات النسبية العامة ، في موضوع لا تشير فيه النظريات القديمة الى أي انحراف . واليوم ، حيث أصبح مفهوم الحبات الضوئية ، أي الجسيمات الحباحبية ، معروفاً حتى عند الجماهير ، فإنه من الممكن أن يميل الانسان الى التقليل من أثر الدهشة . ومع ذلك فان فرقاً أساسياً يتبقى ، ذلك أن علم الحيل القديم اذا طُبّق على جسيم سرعته (عِ) يعطي انحرافاً يعادل نصف الانحراف الذي تتنبأ به النسبية ، فالشعاع المار بقرب الشمس يجب أن ينحرف بمقدار ١٫٧٤ ثانية .

ولأجل التأكد من ذلك، تصور منطقة حول الشمس حين كسوفها الكلي، ثم تصور النجوم نفسها بعد شهر مثلاً بعد أن تكون الشمس قد ابتعدت عن ذلك البرج .

ويجب أن تُظهر مقارنة الصورتين الفرقَ الذي يتنبأ به أينشتاين . وقد حصل هذا فعلاً للمرة الأولى عند كسوف الشمس الكلي الواقع يوم ٢٩ أيار ١٩١٩ . وقد أعيدت التجربة بدقة أكبر كلما حصل كسوف كلي للشمس . وما زال البحث جارياً في تحسين المعدات والنتائج ولكن لم يبق أي شك حول الفرق الذي تنبأ به أينشتاين .

٣ – **انتقال الشرائط الطيفية** . – إن لاهتزازات الكهارب داخل الذرة إيقاع خاص مميز مما يجعل الذرة ساعة مصغرة دقيقة. فالذرة في حالة ما تكون قادرة على بث أو امتصاص سلسلة من الموجات ذات التواتر المحدد وليس غيرها . وهكذا استطاع الفيزيائيون قياس الشريطة الحمراء ، التي

يطلقها الكادميوم بدقة متناهية ، فوجدوا أن طول الموجة في الهواء ، عند الدرجة ١٥° وتحت الضغط العادي ، هو ط = ٦٩٦ ٣٨٤ ٠٦٤ ٠٠٠ ٠,٠٠ سم (بنوا ، فابري ، وبيرو) . وهذا الإشعاع له دورة عظيمة الثبات وقد وضع أمل كبير في أن تلعب الذرات دور أجهزة قياس الزمن ودور إعطاء الزمن المطلق .

وقد حطمت النسبية العامة هذا الأمل ، لأنالتجاذب يبطىء هذه الساعات. ففي الشمس مثلاً ، حيث مجال التجاذب أكبر منه عند سطح الأرض ، يجب أن تنتقل شرائط الطيف دفعة واحدة نحو طرف الطيف الأحمر . وهذا التنبؤ كان قبل وجود أي دليل مادي على ذلك ، وهذا الانتقال فيما يخص الشمس ضئيلاً (٠,٠١١ انجستروم فيما يخص منتصف الطيف الشمسي) ، فالتغيير الذي يصيب طول الموجة السابقة يجب أن يتناول العدد العاشر وراء الفاصلة . وعلى الرغم من التعقيدات الكثيرة التجريبية ، فان الفرق قد ظهر في طيف الشمس . ولكن هذه الظاهرة هامة وتظهر بوضوح أكبر فيما يخص النجوم التي تدعى « الأقزام البيضاء » .

الاقزام البيضاء . — استطاع علم الفلك أن يظهر وجود مئتي نجم غاية في الغرابة ، في موضع من قبة السماء يحيط بمواضع الشمس في السماء . وبفضل هذه النجوم استطاع علم فيزياء الأجرام السماوية وعلم الفيزياء الذري أن يتقدما خطوات هائلة ، وأن يكتشفا حالة خاصة للمادة تدعى « المادة المتعرية » . وأول ما اكتشف منها هو مرافق النجم سيريوس الشهير .

فقد أعلن بسّل عام ١٨١٤ أن جارتنا سيريوس لها حركة خاصة غير مستقيمة . وفسر هذا التموج في حركتها بوجود مرافق لها مظلم يحيدها عن طريقها . ثم شوهد هذا المرافق عام ١٨٦١ فكان نجماً نوره ضئيل ، وكان منتظراً أن يكون لونه أحمراً كجميع النجوم الأقزام . ولكن وجد أن سطحه يشع ضوءاً ساطعاً أبيضاً : ولهذا دعي بالقزم الأبيض . هذا الاشعاع

وحجمه الظاهري أديا الى حساب حجمه الحقيقي فوجد أنه نجم لا يكاد يكبر عن الأرض ، وأن كتلته التي استنتجت من دراسة تأثيره في النجم سيريوس ، تعادل لكتلة الشمس (٠٫٩٥) وهـذا النجم الصغير الحجم الكبير الكتلة له كتلة متوسطة تساوي ١٥٠ ٠٠٠ مرة أكبر من كثافة الماء ! بحيث أن ليتراً واحداً منمادة رفيق سيريوس هذا تحتوي على ١٥٠ طناً من المادة. ثم ظهرت أقزام أخرى يحتوي فيها السم[٣] ما يزيد عن ١٠٠ طن من المادة .

وجود هذه النجوم كان معياراً دقيقاً للنسبية العامة ، لأن المجال التجاذبي قرب سطحها قوي لدرجة تجعل انحراف شرائط الطيف الضوئي كبيراً . وفي الواقع ظهر الفرق مع التنبؤات عند تجارب على مرافق سيريوس . وهذا التأكيد يتكرر مع كل قزم أبيض .

ثم إن ظاهرة أينشتاين هذه ، بعد أن ظهرت صحتها ، أصبحت وسيلة لقياس كتلة النجوم المعزولة (التي كان يستحيل على علم الحيل القديم أن يُكوّن فكرة عن كتلتها) .

المظهر الفلسفي لانحناء المكان الزماني . — قبل النسبية كانت تلوث العلم الانساني لطخة من عدم التماثل . فكانت توجد علوم مترفعة متعالية ، كأن أسسها شروط قبلية لنفسنا ، تفرضها نية عقلنا ، كالهندسة وعلم الحركات ، المختصين بالزمان والمكان ، اللذان يعيران دساتيرهما للفيزياء دون أن يأخذا منها شيئاً . فكانت الفيزياء علماً ثانوياً تضاف ظواهرها الى المكان دون أن تغيره .

وقد فهم أينشتاين أن مبدأ النسبية العامة يعبر عن رد فعل الفيزياء على الهندسة ، وتغيير في المكان تبعاً لما يوجد فيه . وقد رأينا كيف توصل الى ذلك من تطابق الكتلة الوازنة والكتلة القصورية ، وما يتبعها من أن كل تغيير حركي (هندسي) يتميز بطابع تجاذبي .

فلم نعد نقول أن قوة تبعد الجسم عن الحركة المستقيمة التنظيمية : بل

نقول أنه في جوار كل مادة تتغير ميزات المكان . وأن المكان الزماني منحني بمعنى أن المتحركات ، تتنقل في هذا المكان الزماني كحركة كلة قذفت بجانب جدار وعاء دائري . وهكذا تكون الكواكب الدائرة حول الشمس التي تغير المكان حولها ، تتبع الساقية الطبيعية ، أي منحنيات المكان الزماني .

لكي نفهم ما يحصل سنستعين بصورة قديمة . لنأخذ قطعة قماش مشدودة على طارة مستديرة ، القماش مستوي وهندسته هي هندسة المستوي . لنضع على قطعة القماش كرة ثقيلة، تحت تأثير الثقل سوف ينخفض القماش في الوسط على شكل عش. وهكذا لم تبق هندسة القماش مستوية بقرب الكرة وأصبحت هندسة المساحات المنحنية هي الحقيقة . هذا التغير الذي ولدته الكرة لا يجري دفعة واحدة بل ينتقل شيئاً فشيئاً .

ثم لو قذفنا كلة صغيرة على هذا القماش فان حركتها تبقى مستقيمة (غاليلية) إذا لم تقترب من الكرة . ولكن اذا اقتربت منها فانها ستنزلق الى الحفرة وتنتهي حركتها (مكان منحني ، حركة غير غاليلية) .

هذه الصورة غير الأمينة ، ككل تشبيه ، تشير الى ما يحصل حسب المفاهيم الجديدة . وتظهر كيف يمكن أن يفسر الانحناء الجاذبية وكيف أن فيزياء المتصل بكاملها تدخل الى الهندسة .

بناء الأكوان . — إذا نظرنا الى كرة نجد أن سطحها منحني ومقفل (أي يمكن الانتقال فيه دون أن نجد حافة) ومنتهي (أي لا يمكن الابتعاد الى اللانهاية عن نقطة البداية) . فإذا فرضنا وجود مخلوقات صغيرة ذكية على سطحها ، لم يستطيعوا أن يدوروا دورة كاملة حولها ، فانهم يستطيعون بواسطة قياسات خاصة أن يكتشفوا انحناءها ، وذلك بأن يجدوا مثلاً أن مجموع زوايا المثلث لا يساوي قائمتين . ثم انهم يستطيعون أن يستنتجوا ان هذا السطح منحني : شرط أن يقبلوا أن هذا الانحناء يستمر في الجهات التي لم يصلوا اليها . وهذا الافتراض لا يسمح لهم بالوصول الى أي تأكيد ويكون

خطيراً بقدر ما يكون المعروف عندهم قليلاً ، وبقدر ما يكون علمهم محلياً، ونحن أمام الكون في وضع مماثل . فملايين السنين الضوئية التي أظهرها علم الفلك بسرعة ، ليست بالتأكيد سوى جزء بسيط من الكون (كمساحة فرنسا مثلاً على الكرة الأرضية) . ثم إن علمنا بتقدمه الباهر يظهر كم هو ناقص . فنحن لسنا في موقف يسمح لنا بالتكهنات حول الكون ككل واحد . ولكن التكهنات ولو كانت خاطئة تؤدي الى تقدم العلم .

ومنذ عام ١٩١٥ استطاع العلم الشعور بانحناء للكون الذي نعيش فيه . وهذا ليس فكرة فلسفية بل انها ملاحظات تجريبية (كانحناء الأشعة الضوئية قرب الشمس) تشبه عملية قياس مجموع زوايا المثلث لمعرفة فيما اذا كانت تساوي او لا تساوي قائمتين .

ولكن على الرغم من مثال الكرة فان مبدأ انحناء الكون يبقى غامضاً . ولأجل تمثله وتصوره يلزم لذلك بُعد رابع ، وهذا ما نعجز عنه . أما الرياضيون فانهم يعنون بكلمة « إنحناء » بعض مميزات تجريبية تظهر في معادلاتهم بعيداً عن كل تصور مادي . وهذا يكفيهم . وهم يبتعدون عن كل تصور خاطىء يمكن ان يصوره خيالهم . لنفعل مثلهم .

بعد ان ظهر لأينشتاين إنحناء محلي، بديء البحث عن امكانية اقفال المكان الزماني (الذي ضربنا عنه مثلاً بالسطح الكروي) . ولكن مدى ملاحظاتنا ومشاهداتنا يمنعنا من أن نتعرف على نموذج كوننا من بين النماذج المعروضة الى الآن ، والتي هي نماذج مؤقتة .

ويلاحظ ادنيغتون بأنه اذا حملت دراسة السدم البعيدة أي اشارة قريبة او بعيدة في صالح المكان المقفل . فان لهذه الشهادة وزناً أكثر من وزن الأحكام القبلية التي يحيلها من لم ينظر الى السماء ابداً .

والدفاع عن فكرة كون الكون اقليديا او ان يكون له أي شكل أردنا، لا يفضل الحكيم بكون الارض مسطحة او ان شكلها غير محدد .

النماذج . — اختار اينشتاين ، اول الامر ، مفضلاً البساطة والتجانس ، النموذج الأشد بساطة : كرة مفلطحة مع عدم تساوي محلي [كالأرض ، التي تظهر كروية عند اول تقدير ، ثم مفلطحة مع عدم استواء محلي ناتج من الجبال والوديان] .

وقد افترض اينشتاين كونه سكونياً ، اي يحتفظ بحجمه المتوسط خلال الزمن .

وفي عام ١٩١٧ برهن دي ستير أن نموذجاً مقفلاً آخراً ولكن مفرغاً من كل مادة ، يصلح للشروط المفروضة من قبل النسبية العامة .

ومنذ ذلك الحين برهن عدة علماء نظريين كفريدمان (١٩٢٢) ولميتر (١٩٢٧) وروبرتسون (١٩٢٩) وأدينغتون (١٩٣٠) وهيكمان (١٩٣١) ودي سيتر (١٩٣٢) ثم أخيراً أينشتاين (١٩٣٢) ، برهنوا على وجود عدد كبير من النماذج المختلفة الممكنة ، المقفلة أو غير المقفلة ، وكان لنتائجهم خاصية جديدة : هي أن الكون ليس متوازناً وهادئاً . فكون أينشتاين الكروي غير متوازن بينما كون دي سيتر هو نهاية مطاف التطور حيث تبتعد أجزاء المادة عن بعضها فتقرب من العدم .

بين هاتين الحالتين تنتشر عدة أشكال لأكوان نسبية بعضها محدد ذو شعاع متغير (كون منتشر ، كون منقبض ، كون متأرجح) وبعضها غير محدد (كون ذو انحناء سالب أو انحناء صفري) . ولكن في جميع هذه النماذج تتغير المسافات بين الأجسام الساكنة بتغيير الاطار المكاني الزماني الموجودة فيه .

ومهما كان النموذج الذي سوف يجده المستقبل متماشياً مع الحقيقة . فإننا منذ الآن نستطيع أن نرى حلول معادلات مجال النسبية العامة تنتسب الى نوع غير متوازن وغير هادىء .

هروب السدم : — أعلن الأب لميتر عام ١٩٢٧ أن النجوم البعيدة الثابتة

في أماكنها البعيدة ، تعطي مظهراً كأنها تبتعد هاربة عنا بسرعة تتناسب مع بعدها . ولم ينتبه أحد إلى هذا العمل للنظري ، إلى أن أخرجه أدينغتون من النسيان عام ١٩٣٠ .

ولكن منذ عام ١٩٢٨ برهن « هيبل » مع « هيمازون » ان السدم البعيدة تعطي اطيافاً منحرفة نحو الأحمر بكميات تتناسب مع بعدها .

والتفسير الوحيد الذي نجده لهذه الظاهرة التي اكتشفها ليمتر ، تعطيه النماذج النسبية للأكوان . وهكذا تتساند النظريات والتجارب .

وانحراف الطيف هذا بالنسبة الى السدم البعيدة جداً يُعَدّ اكبر ظاهرة عرفتها الفيزياء. فأبعد هذه السدم تعطي انحرافاً يبلغ ٨٠٠ انجستروم، بينما يعمل الفيزيائيون عادة على انحراف يعادل جزء من مئة من الانجستروم . هذه السدم تقع على بعد ٧٠٠ مليون سنة ضوئية ، وتبتعد عنا بسرعة ٦٠ ٠٠٠ كلم في الثانية (سرعة تعادل خمس سرعة الصوت) .

وربما تستطيع ايجاد تفاصيل اكثر حول نظرية انتشار الكون ، في كتب اخرى لامجال لها هنا .

٦

مظهر الزمن النسبي
رحالة لانجفان

إن مظاهر الزمن النسبي تصدم الحس المشترك . وأثر العادات عميق لدرجة أن الانسان عندما يطالع النسبية ويودها، فإنه لا يستطيع أن يتخلص تماماً من هذا الاثر . ذلك ان الانسان إذا أراد التعمق في فهم المخاطر التي يتعرض لها رحالة لانجفان ، فانه باعتقاده قد فهم الزمن النسبي ، يعود للوقوع في شراك المطلق . والصفحات التالية تكون رداً على طلبات عديدة وجهت اليّ .

لوصف هذه الرحلة تدخل في هذه العملية ثلاثة أنظمة : س ، ص ، ع . وهذه الانظمة هي عبارة عن محاور مستقيمة متوازية متحركة بالنسبة الى بعضها ، حركة مستقيمة منتظمة .

إذا كانت هذه المحاور الثلاثة ساكنة ، فإنه لا يمكن التفريق بينها لأنها متشابهة ومقسمة بنفس الوحدة المادية، وقد وضعت بجوانبها علامات متشابهة. كما وزعت فيها ساعات متشابهة رتبت على طول المحاور .

في كل نظام منها تضبط الساعات بواسطة إشارات هرتزية كما يحصل على سطح الارض .

وعلى شكل تخطيطي نقول أن الإشارة التي تعطيها الساعة (أ) في الزمن (ن) والتي تستقبلها الساعة (ب) في الزمن (هـ) ترجع مباشرة إلى (أ) . لنفرض (نَ) الزمن في (أ) عند رجوع الإشارة ، فتكون الساعة (ب) مضبوطة على الساعة (أ) إذا كان : $هـ = \frac{ن + نَ}{٢}$

(إن كروية الأرض وطريقة انتشار الموجات الهرتزية يجعل عملية ضبط الساعات صعبة ومعقدة ، وهذا غير موجود في مثل هذا المثال .)

في نظام ما (س) مثلاً ، بعد ضبط الساعات فيه على هذا الشكل ، تدل هذه الساعات على أزمنة متوافقة . أي أن العقارب تكون في نفس الوضع بالنسبة إلى جميع سكان هذا النظام في آن واحد (كلمة آن واحد تعني هنا ما يريده أينشتاين) . وهكذا يكون زمن وقوع حادثة ما لا يحتمل أي إشكال : فهو الزمن الذي تدل عليه الساعة في موضع الحادثة ، وهكذا يتفق جميع سكان (س) .

وكذلك فإشارة ساعة ما في النظام (ص) ترضي جميع سكان هذا النظام.

والصعوبة توجد في مقارنة هذه الأزمنة التي اتفق عليها بالاجماع في كل نظام على حدة في (س ، ص ، ع) عندما تكون هذه الأنظمة متحركة بالنسبة الى بعضها .

الوحدات . — وحدة الزمن هي الساعة ، وحدة الطول هي الساعة الضوئية ، وهي الطول الذي يقطعه الضوء في ساعة (تقريباً مليار واحد من الكيلومترات) . ولكن هذا الطول هو ليس زمن مخبأ بل هو طول أُخذ على الأرض فعلاً ووضعت علامات عند حافتيه .

بواسطة هذه الوحدات سوف نأخذ السرعة النسبية لـِ (ص) بالنسبة الى (س) وهي $\sqrt{\frac{٣}{٢}}$ (تقريباً ٢٦٠٠٠٠ كلم في الثانية) . والازمنة (ز ، زَ) سوف يحسبان إبتداء من الظهر (الساعة ١٢ هي الساعة صفر) .

على المحور (س) ، يوجد شخص ثابت (م) يلعب دور نقطة الأصل . المحور (ص) المتحرك أمام المشاهد (م) ، ضبطت ساعاته بحيث أن هذا المشاهد يرى ، ظهراً ، في (ص) ، ساعة أمامه تشير كذلك الى الظهر . والمسافر (ر) الذي كان يقف بجوار المشاهد (م) يقفز في تلك اللحظة الى المحور (ص) وتصبح هذه النقطة في (ص) هي نقطة الاصل .

وهكذا تبدأ الرحلة. ويكون لدينا:
$$\begin{cases} \text{ز} = \text{صفر} \quad w = \text{صفر في المحور س} \\ \text{زَ} = \text{صفر} \quad w' = \text{صفر في المحور ص} \end{cases}$$
للحادثة : « انطلاق الرحالة ر » .

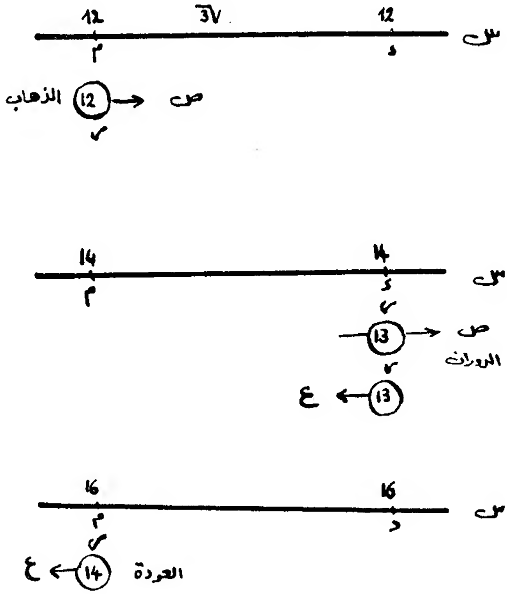
لكي نراقب الأزمنة التي سنعلنها ، سوف نعطي دساتير التحويل الآتية :

$$(١)\begin{cases} w' = ٢\,\text{س} - \sqrt{٣}\,\text{ز} \\ \text{زَ} = ٢\,\text{ز} - \sqrt{٣}\,w \end{cases} \qquad (٢)\begin{cases} w = ٢w' + \sqrt{٣}\,\text{زَ} \\ \text{ز} = ٢\,\text{زَ} \times \sqrt{٣}\,w' \end{cases}$$

هاتان المجموعتان (١) و (٢) تعطيان الاحداثيات (w' ، زَ) في (ص) للحادثة التي تعين في (س) بواسطة (w ، ز) وعلى العكس .وعلى العموم اذا عرفنا اثنين من الأعداد الأربعة (w ز w' زَ) فإن أحد المجموعتين يعطينا الأخرى .

الحالة الأولى : صاروخان يحمل كل منهما ساعة واحدة . —

تقرير م : عند الظهر تماماً يقفز الرحالة (ر) الى الصاروخ (ص) (شكل ١٥) حيث أرى ساعته تدل كذلك على ١٢ ؛ هذا الصاروخ (ص) يتحرك بسرعة $\sqrt{\frac{٣}{٢}}$ على محورنا (س) ، ونرقم عند كل نقطة ساعة مروره .



(شكل ١٥ ، ١٦ ، ١٦ مكرر)

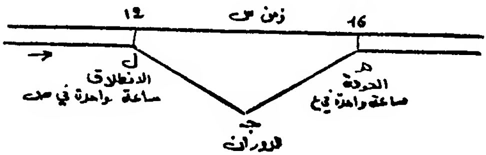
في الساعة ١٤ يكون الصاروخ قد وصل أمام المشاهد (د) الى الملامة الكيلومترية $\sqrt{٣}$. (وهذا طبيعي : ز = ٢ ؛ س = $\sqrt{٣}$) . ولكن (د) رأى الساعة عند (ص) تساوي ١٣ فقط .

وفي هذه اللحظة يقفز (ر) من الصاروخ (ص) الى الصاروخ (ع) الراجع نحوي بنفس سرعة (ص) بالنسبة إلي .

في الساعة ١٦ يصل (ع) وأرى ساعته تدل على ١٤ . ويقفز (ر) الى عندي . ويكون قد تركني مدة ٤ ساعات قضيناها نحن في حالة عادية .

تقرير ر : عند الظهر أقفز إلى الصاروخ (ص) حيث كانت الساعة فيه كذلك ١٢ . فبقيت ساعة كاملة عادية في هذا الصاروخ ، وعند الساعة ١٣ وصلت إلى المشاهد (د) (حيث كانت تشير العلامة الكيلومترية إلى $\sqrt{٣}$ وساعته إلى ١٤) .

وهناك انتقلتُ إلى ع حيث كانت الساعة كذلك ١٣ ، وبقيتُ ساعة في الرجوع فكانت الساعة في ع، ١٤ . وعند وصولي إلى م حيث توقفت، كانت الساعة ١٦ في المحور س .



شكل — ١٧

وقد قضيتُ ساعتين عاديتين في السفر ، فقرأت عدداً من الصفحات يساوي ما يقرأه عادة الإنسان في ساعتين من ساعات النظام س . ولكن قفزاتي الثلاثة: عند الانطلاق، عند النهاية، وحين الرجوع، قد هزتني هزاً عنيفاً وأنا افسرها باختلاف الزمن الذي قضيته والزمن الذي عاشه سكان عالمنا .

الصورة الهندسية : — في هذه المدة قضى المشاهد م زمناً منتظماً : إذن الطريق الكونية التي يشقها تكون مستقيمة (شكل ١٧) . وعلى العكس من ذلك يكون الرحالة ر قد تلقى ثلاثة تسارعات كل منها تعوج مسيره الكوني فهو إذن يتبع خط منكسر ل جـ هـ . وفي الهندسة لا يزعم أحد أن جميع المسافات بين (ل ، هـ) متساوية في الطول . وهكذا هو الحال في النسبية فيما يخص الزمن الواقع بين حادثتين (من ل إلى هـ)، بين انطلاق ر وعودته يكون الزمن المعاش تابعاً للطريق الكونية المقطوعة . ولم يبق أي تماثل بين زمن (م)

وزمن (ر) (كما لم يبق تماثـــل بين الخط المستقيم (ل هـ) والخط المنكسر (ل جـ هـ) في الهندسة) .

والزعم في كون تغيير المحـاور لحظيـاً لا تأثير له ، هو كالقول بأن رأسي الخط المنكسر لهما طول صفري فهما بدون تأثير ، والمسافة بين (هـ،ل) لا تتأثر إذا اتبع الخط المستقيم أو الخط المنكسر .

ولكن هذا التشبيه يحمل عيبـاً ، ذلك أن الخط المنكسر (ل جـ هـ) في الهندسة أطول من الخط المستقـيم (ل هـ) ؛ وفي النسبية الطريق (ل جـ هـ) قطعت بتسارعات ولهـــذا تختصر الزمن فهي أقصر من الطريق الذى قطع بانتظام .

سجل الالتقاءات : – إذا التقى مسافران ، أحدهما بول والثاني جان ، متحركان في نظامين مختلفين (س ، ص) ، فان ظروف اللقاء توصف بطريقة مطابقة من قبلهما معاً . فلو سجل كل منهما ما يحصل بقرب ساعته ، فان اللقاء يسجل عندهما على نفس الشكل . فنقرأ مثلاً :

النظام : (س) . العلامة الكيلو مترية : $۲\sqrt{۳}$ المشاهد : بول .

الساعة ١٥ ^{س} ٣٠َ : وصل جان امامي. علامته تدل على $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ وساعته ١٣ ^{س}

النظام : (ص) . العلامة الكيلومترية: $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$. المشاهد : جان .

الساعة ١٣ ^{س} ، بول يصل إلى أمامي علامته تدل على $۲\sqrt{۳}$ وساعته ١٥ ^{س} ٣٠َ

ولنكرر أن كل ساعة منضبطة في النظام بكامـله . فعند لقاء بول وجان تكون الساعة ١٥س ٣٠َ في النظام (س) وتكون ١٣س في النظام (ص) .

هذه السجلات المكونة من الملاحظات المحلية لا تحمل أي تناقض . ويمكن انشاء الشكل التالي عملياً بأخذ السجلات على المحورين ، ومهما كان تأثيرهـا غريباً على منطقنا للوهلة الاولى ، فهي لا تحتوي على استحالة قيمتها الفيزيائية فلا يلحق بها أي شك .

فهرست